

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky**

**Testování přenosu dat s využitím standartu IEEE 802.11ac  
Testing Data Transmission Using Standart IEEE 802.11ac**

**2014/2015**

**David Krmela**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky

## Zadání bakalářské práce

Student:

**David Krmela**

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2612R059 Mobilní technologie

Téma:

Testování přenosu dat s využitím standardu IEEE 802.11ac  
Testing Data Transmission Using Standard IEEE 802.11ac

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je praktickým měřením ověřit dosah a rychlost přenosu dat standardu IEEE 802.11ac.

1. Teoretický rozbor problematiky šíření rádiových vln v pásmu 5 GHz.

2. Analýza pokrytí signálem standardu 802.11ac s využitím dostupných softwarových nástrojů.

3. Ověření dosaženého pokrytí praktickým měřením.

4. Proměření dosažitelných přenosových rychlostí.

Seznam doporučené odborné literatury:

Pechač P., Zvánovec S.: Základy šíření vln pro plánování pozemních rádiových spojů, BEN, 2007, ISBN: 978-80-7300-223-7

Pechač P.: Šíření vln v zástavbě, BEN, 2005, ISBN: 80-7300-186-1

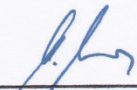
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

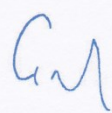
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Roman Šebesta, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2015




  
doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 7 května 2015

  
podpis studenta

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu Ing. Romanovi Šebestovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

## **Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby**

„Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských programech VŠB-TU Ostrava.“

Dne: 7 května 2015



podpis zástupce

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá testováním přenosu dat v standardu IEEE 802.11ac, čili v novém standardu. Teoretická část práce se zaměřuje na problematiku šíření rádiových vln v pásmu 5GHz. Úkolem je přiblížit bezdrátové vlastnosti pásma 5 GHz a přiblížit problematiku jeho šíření. V druhé polovině je zkoumána praktickými testy přenosová rychlost, úroveň signálu a útlum signálu skrz překážky. Také zde budou srovnány obrázky různých měření v praxi s jejich teoretickými předpoklady uvedenými na internetu.

Od této práce očekávám, že standard 802.11ac bude nástupcem za dosavadní standard 802.11n, který se v praxi nejvíce používá. Mým cílem je dosáhnout co nejvyšších přenosových rychlostí s co možno nejmenší latencí a také co nejlepším pokrytím signálu.

## **Klíčová slova**

Bezdrátové síť 5 GHz - označení pro přenos v pásmu 5 GHz

IEEE 802.11ac - označení pro wifi standart ;

Latence - odezva uvedená v milisekundách ms ;

Přenosová rychlost – přenesený objem informací za jednotku času

Wifi - označení pro bezdrátový přenos ;

## **Abstract**

This thesis deals with the testing data in the IEEE 802.11ac standard, or the new standard. The analysis focuses on the propagation of radio waves in the 5GHz band. The task is to measure the rate at which data is transferred and how it behaves this protocol when transferring between one or more obstacles and their impact on the latency of the available tools.

In the second half of the practical tests are examined data rate, latency, and problems with signal propagation. Also here will be compared images of different measurements in practice with its theoretical assumptions listed on the Internet.

From this work I expect that will replace the current standard, which is most often used in practice and it is a standard IEEE 802.11n. My goal is to achieve the highest transmission speed with the smallest possible latency.

## **Key words**

5 GHz wireless network - the designation for the transmission in the 5 GHz

IEEE 802.11ac - the designation for wifi standard;

Latency - response time in milliseconds ms;

Transmission speed – transferred quantity informations for time

Wifi - specification for wireless transmission;

# Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
B	MHz	Šířka pásma
f	GHz	Frekvence
P	mW	Výkon
a	dBm	Útlum
s	m	Vzdálenost
t	ms	Čas
Vp	Mbit/s	Přenosová rychlost



## Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam
<b>ČTU</b>	Český telekomunikační úřad
<b>DSSS</b>	Technika přímého rozptřeného spektra
<b>IEEE</b>	Označení protokolu (Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství)
<b>ITU</b>	Mezinárodní telekomunikační unie
<b>MIMO</b>	Technologie pro bezdrátový přenos signálu z více bodů do více bodů
<b>MISO</b>	Technologie pro bezdrátový přenos signálu z více bodů do jednoho bodu
<b>MU-MIMO</b>	Technologie podobná MIMO pro více uživatelů současně
<b>OFDM</b>	Ortogonální multiplex s kmitočtovým dělením
<b>PtP</b>	Označení pro přenos z bodu do bodu
<b>PtMP</b>	Označení pro přenos z bodu do více bodů
<b>SHF</b>	Pásmo krátkých vln
<b>SISO</b>	Technologie pro bezdrátový přenos signálu z jednoho bodu do jednoho bodu
<b>SIMO</b>	Technologie pro bezdrátový přenos signálu z jednoho bodu do více bodu
<b>UHF</b>	Pásmo ultra krátkých vln
<b>WIFI</b>	( Wireless Fidelity) = bezdrátová technologie

## Seznam použitých termínů

Termín	Význam termínu
<b>Freeware</b>	Označení pro bezplatný software
<b>Modulace</b>	Je nelineární proces, kterým se mění charakter vhodného nosného signálu pomocí modulujícího signálu
<b>Přenosová rychlost</b>	Označení pro objem informací přenesených za jednotku času
<b>Router (směrovač)</b>	Je v síti zařízení, ke kterému se klienti připojují pomocí bezdrátového připojení neboli Wifi
<b>Útlum signálu</b>	Označení pro snížení úrovně signálu
<b>Wi-Fi</b>	Označení pro bezdrátovou komunikaci

---

\* tento seznam není povinnou součástí práce

# Obsah

1.	Úvod.....	- 1 -
1.1	Cíl práce.....	- 1 -
1.2	Organizace dokumentu.....	- 1 -
2.	Teorie bezdrátových přenosů	
2.1	Pásmo a standardy .....	- 2 -
2.2	Vzor bezdrátového spoj.....	- 3 -
2.3	Fresnelova zóna.....	- 4 -
2.4	Polarizace .....	- 5 -
2.5	Odraz, ohýb a rozptyl vln .....	- 6 -
2.6	Typy bezdrátových antén .....	- 9 -
2.7	Technologie MIMO.....	- 10 -
2.8	Problémy v šíření bezdrátového přenosu v pásmu 5 GHz .....	- 10 -
3.	Analýza pokrytí signálem standardem 802.11ac	
3.1	IEEE 802.11ac.....	- 12 -
3.2	Software Ekahau Site Survey .....	- 13 -
3.3	Simulace pokrytí signálem routeru standardem 802.11ac.....	- 15 -
4.	Ověření dosaženého pokrytí praktickým měřením	
4.1	Metodika měření.....	- 18 -
4.2	Výsledky měření .....	- 24 -
5	Proměření dosažených přenosových rychlostí	
5.1	Měření v pásmu 2,4 GHz a 5 GHz .....	- 29 -
5.2	Měření útlumů signálu skrz materiály.....	- 31 -
	Závěr .....	- 33 -
	Použitá literatura .....	- 34 -
	Seznam příloh.....	- 35 -

# 1 Úvod

## 1.1 Cíl práce

Jedním ze způsobů pro přístup k Internetu je využití technologie Wi-Fi, což je v informatice označení pro bezdrátový přenos. Bezdrátové sítě jsou založeny na standardu 802.11 a jsou velmi rozšířené. Je to hlavně díky jednoduchosti v postavení vysílacích bodů a finanční nenáročnosti. Jedním z nových standardů je 802.11ac, který byl oficiálně představen na začátku roku 2014.

Cílem této práce je zjistit vlastnosti a přínosy nově přichozího standardu 802.11ac. Zejména jeho chování ve volném prostředí, kapacitu přenosových rychlostí a sílu pokrytí signálem. Dále je zde prozkoumána problematika přenosu v pásmu 5GHz na základě teoretických poznatků. Navrhnout metody pro eliminaci, či prevenci negativních vlivů působících na bezdrátový přenos.

Standard 802.11ac využívá pásma 2,4 GHz a 5 GHz. Problémem v těchto pásmech je velké zarušení. Úvodem je, že jsou tyto pásma velmi často používané nejen poskytovateli Internetu ISP (Internet service provider), ale i každou domácností, která vlastní svůj bezdrátový směrovač (router). Tyto bezdrátové směrovače vysílají v pásmech 2,4 GHz nebo 5 GHz, což může narušovat bezdrátový provoz ISP providerů, kteří poskytují Internet v těchto pásmech.

## 1.2 Organizace dokumentu

Kapitola první je věnována teorii bezdrátových přenosů a její problematice. Popisuje základní poznatky bezdrátového spojení a fyzikálními jevy, ke kterým dochází při šíření rádiových vln ve vnějším prostředí. Je zde popsán také provoz bezdrátových sítí v pásmu 5 GHz a zaměření na protokoly z rodiny IEEE 802.11.

V kapitole druhé je rozvedena teorie pokrytí signálem standardu 802.11ac v počítačovém programu *EkaHau Site Survey*, který dokáže simulovat teoretické pokrytí bezdrátového směrovače v prostředí s překážkami, jako jsou například zdi, okna, dveře a další.

Kapitola třetí obsahuje prověření pokrytí signálem praktickým měřením bezdrátového směrovače, za použití přenosného notebooku s programy pro měření síly signálu. Konec této kapitoly se zabývá srovnáním nasimulovaného pokrytí ve virtuálním programu a prověření praktickým měřením.

V kapitole čtvrté je prověřena přenosová rychlost bezdrátového přenosu u směrovače měřením v situacích bez překážek, s jednou zděnou překážkou, se dvěma zděnými překážkami, s třemi zděnými překážkami a v odstupu po několika metrech. Dále měření v uzavřeném prostředí skrz materiály dřevo, plech a polystyrén. Měření je provedeno v programech *jperf*.

## 2 Teorie bezdrátových přenosů

Bezdrátové sítě Wi-Fi (Wireless Fidelity) je označení pro standard IEEE 802.11[1], který pracuje na frekvencích 2,4 GHz, 5 GHz. Každá frekvence používá pro přenos dat odlišný standard. Pro sítě ve frekvencích 2,4 GHz používají standardy IEEE 802.11b, 802.11g a nový protokol 802.11ac. Pro sítě ve frekvencích 5 GHz to jsou protokoly IEEE 802.11a, 802.11n a 802.11ac. Frekvence dále dělíme podle mezinárodní telekomunikační unie ITU (International Telecommunication Union). Pro frekvenci 2,4 GHz, která je zařazena do pásma ultra krátkých vln UHF (Ultra High Frequency) v rozpětí 0,3 až 3 GHz a frekvence 5 GHz do pásma super krátkých vln SHF (Super High Frequency) v rozpětí 3 GHz až 30 GHz.

Bezdrátové sítě se využívají ve dvou typech prostředí. Máme bezdrátové sítě určené pro vysílání ve vnitřním prostředí (indoor) čili uvnitř objektů, jako jsou domy, školy a podobně, a dále pro vnější prostředí (outdoor), což je mimo objekty ve venkovním prostředí. Při venkovním použití je potřeba mít přímou viditelnost mezi bodem vysílače a přijímače. Na velkou vzdálenost jsou antény pracující ve frekvencích 5 GHz velmi náchylné na jakékoli překážky (budovy, stromy, lesy, a jiné). Překážky velmi ovlivňují jak rychlost přenosu, tak latenci i samotnou kvalitu signálu. Takové spoje jsou téměř vždy nekvalitní a bývají častou příčinou výpadků internetu. V indoorovém prostředí kdy nejde o antény, ale o směrovače (routery) nemá překážka až takový vliv kvůli převážně využití frekvence 2,4 GHz, která není až tak náchylná na překážky.

### 2.1 Pásma a standardy

Jak pro pásmo 2,4 GHz tak pro 5 GHz existují dané standardy z rodiny IEEE 802.11. Tabulka č. 2.1 zobrazuje pro každý standard jeho pásmo, fyzickou vrstvu[3] a přenosovou rychlost, které je každý ze standardů schopen poskytnout. Hlavní změny jsou odlišné pásma a použití jiné fyzické vrstvy. Hodnoty v tabulce jsou pouze teoretické. V praxi se jedná zhruba okolo 1/3 dosažitelné rychlosti ne-li méně než je uvedeno v tabulce.

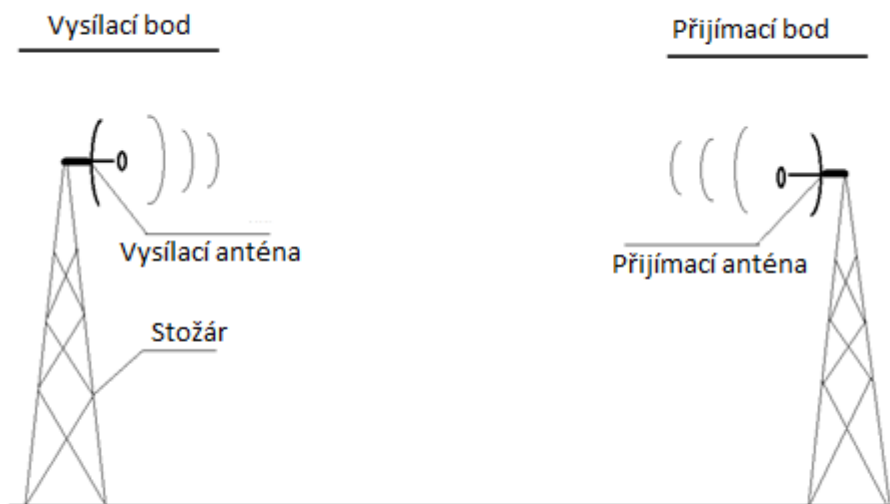
Tabulka 2.1: *Tabulka standardů rodiny IEEE 802.11*

Standart	Pásmo[GHz]	Maximální rychlost v [Mbit/s]	Fyzická vrstva
IEEE 802.11	2,4	2	DSSS
IEEE 802.11a	5	54	OFDM
IEEE 802.11b	2,4	11	DSSS
IEEE 802.11g	5	54	OFDM
IEEE 802.11n	2,4 nebo 5	600	OFDM,MIMO
IEEE 802.11ac	2,4 nebo 5	1800	OFDM,MIMO

## 2.2 Vzor bezdrátového spoje

Bezdrátový spoj je propojení dvou bodů z místa vysílání do místa příjmu bezdrátovým spojením. Bezdrátový spoj dělíme tzv. z bodu do bodu PtP (Point to Point) nebo z bodu do několika bodů PTMP (Point to multipoint).

Pro náš vzor použijeme obrázek 2.1. Na levé straně je vysílací anténa, která vysílá signál směrem k přijímací anténě. Přijímací a vysílací anténa musí být natočeny v přesném směru na sebe navzájem. To z toho důvodu, aby spojení mezi nimi bylo co nejstabilnější. Obě antény jsou namontovány na stožáru v určité výšce. Důvodem je vyhnout se možným překážkám v cestě.



Obrázek 2.1: Ukázka bezdrátového spoje

### 2.3 Fresnelova zóna

Aby spoj fungoval dobře bez větších problémů, je potřeba zajistit, aby ve vzdušné oblasti mezi stanicí vysílače a stanicí přijímače nebyly žádné překážky například stromy, elektrické dráty, kopce, budovy a další. Představme si dvě antény jako body. Mezi dvěma body se vytváří při bezdrátovém přenosu oblast elipsoidu. Tuto oblast nazýváme Fresnelova zóna. V této zóně se přenáší zhruba 60% celkového signálu. Jelikož je tato zóna nejaktivnější, tak je potřeba zajistit, aby se ve Fresnelové zóně nevyskytovaly žádné nežádoucí stínění. Každá z výše zmíněných překážek umístěných přímo v této zóně může narušit spojení mezi vysílačem a přijímačem tak, že spojení nebude fungovat spolehlivě a stabilně. V lepších případech mají malé překážky vliv z praxe pouze na přenosovou rychlost. Fresnelovu zónu dělíme na dvě části. První část obsahuje již zmíněných 60% signálu a je tvořena středem celkové zóny. Tuto část označujeme jako první Fresnelovu zónu. Druhá část je oblast okolo první zóny čili zbylých 40% a nazýváme ji druhá Fresnelova zóna. Fresnelova zóna je vykreslena na obrázku č. 2.2. Pro výpočet poloměru středu v první Fresnelovy zóny lze použít následující vzorec.

$$x = \sqrt{\frac{\lambda * d1 * d2}{d1 + d2}} \quad (2.1)$$

Pro výpočet obecného poloměru Fresnelovy zóny musíme však vzorec trochu upravit:

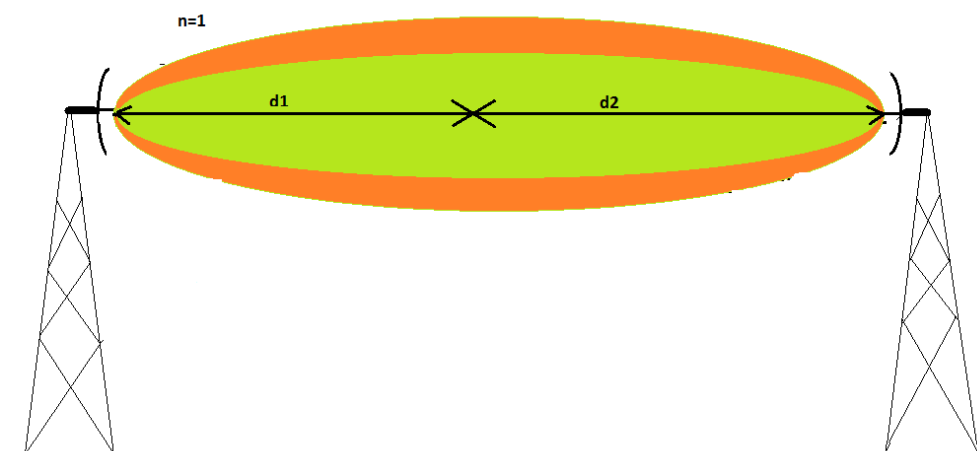
$$x = \sqrt{\frac{\lambda * n * d1 * d2}{d1 + d2}} \quad (2.2)$$

d1... vzdálenost od poloměru k prvnímu spoji

d2... vzdálenost od poloměru k druhému spoji

$\lambda$ ... vlnová délka přenášeného signálu v metrech

n... označení pro Fresnelovu zónu (n=1 – označení pro první Fresnelovu zónu)



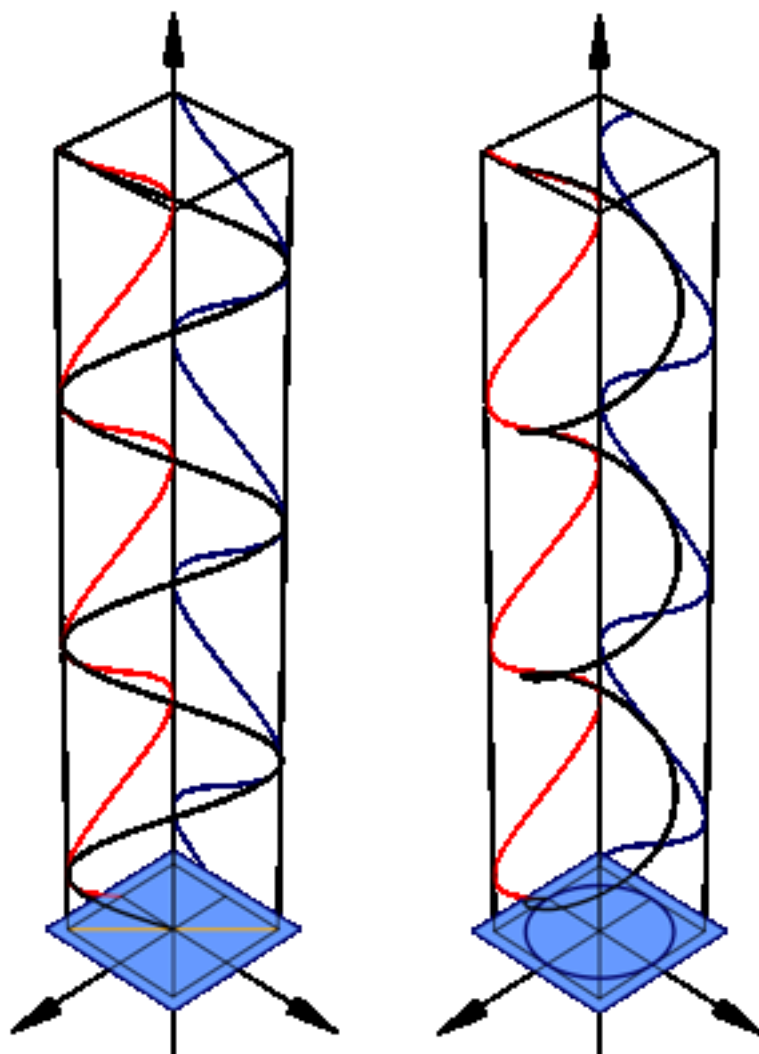
Obrázek 2.2: *Fresnelova zóna* [2]

### 2.4 Polarizace

Při vysílání signálu rozlišuje, jakým směrem anténa vysílá. Polarizace je typ roviny, v které anténa vysílá. U bezdrátového přenosu v 5 GHz pásmu rozlišujeme dva typy polarizace lineární a kruhovou. Lineární polarizace se používá v praxi nejvíce a je rozdělena na horizontální a vertikální. Kruhová polarizace se v praxi nyní příliš nepoužívá a dělí se na pravotočivou a levotočivou. Typy polarizací jsou vykresleny na obrázku č. 2.3. Typ polarizace závisí na konstrukčním provedení antény. Pokud anténa vysílá ve vertikální polarizaci, tak signál může zachytit druhá anténa pouze v případě, že je nastavena na příjem ve stejné polarizaci jako vysílač.

Polarizace také může výrazně přispět ke zlepšení přenosu mezi anténami v situacích, kdy máme například dvě antény, které mezi sebou vysílají ve vertikální polarizaci. Představme si, že do jejich Fresnelovy zóny vysílají další antény ve stejné polarizaci. Kvůli vysílání ostatních antén ve stejné polarizaci je kvalita původního bezdrátového spoje zhoršená vzájemným rušením Fresnelových zón. Při změně typu polarizace z vertikální na horizontální, se v takovém případě zlepší kvalita bezdrátového spojení. Hlavním důvodem je vysílání v jiné polarizaci, než vysílají signál ostatní vysílače ve stejném pásmu.





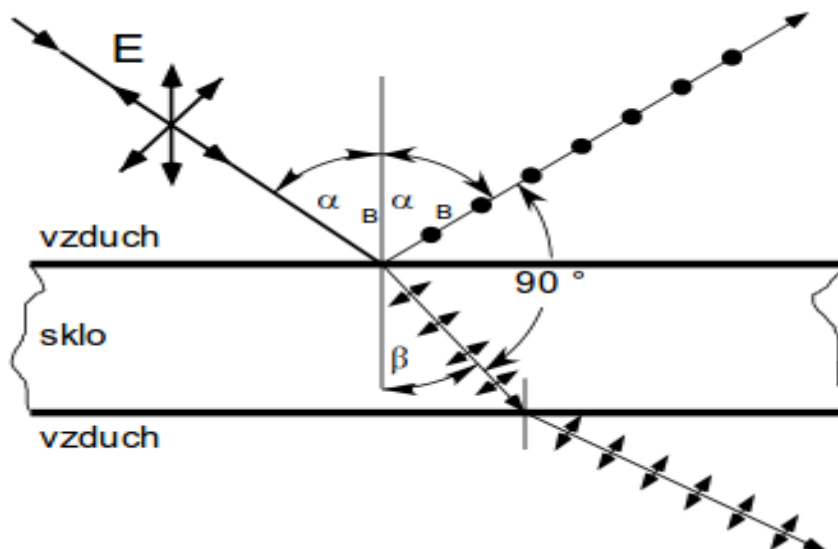
Obrázek 2.3: Vlevo lineární polarizace vpravo cirkulární polarizace[15]

Z obrázku je patrné, jak se od sebe tyto polarizace liší. Lineární polarizace má vzor sínusovky oproti cirkulární polarizace, která připomíná spirálu točící se do kruhu [3].

## 2.5 Odraz, ohyb a rozptyl vln

Při kontaktu vlnění s prostředím vzniká odraz vlnění. Odraz vlnění může vzniknout například v prostředí, kdy se vlna dostane do rozhraní dvou prostředí, například vzduchu nebo skla viz obrázek č. 2.3. Zde může dojít k jeho odrazu zpět do prostředí, odkud se vlna šířila.

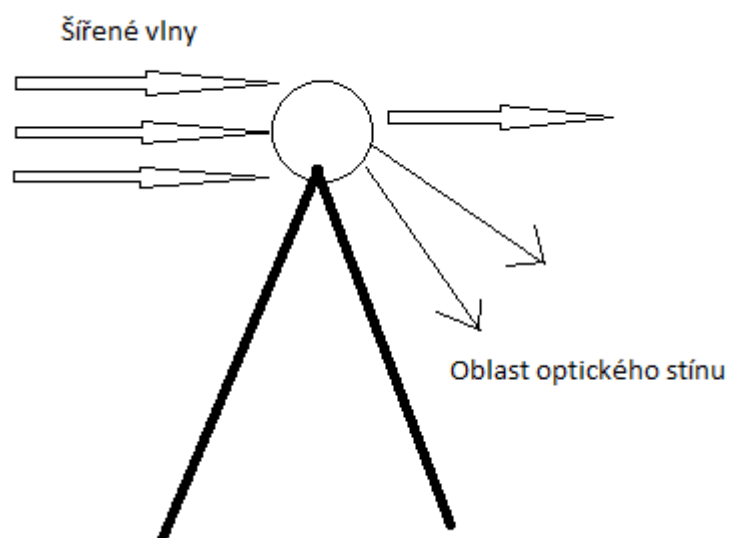
Odraz se řídí podle Snellova zákona. Při odrazu musíme počítat s mnoha faktory ovlivňující odraz. Jedná se například o nerovnost a vlastnosti materiálu od, kterého se vlna odráží a také zahrnout Fresnelovy zóny a polarizaci dané vlny.



Obrázek 2.3: Odraz rovinné vlny od rovinného rozhraní – kolmá polarizace

Na obrázku č. 2.3 můžeme vidět příklad chování jedné vlny při odrazu od rozhraní skla. Nedochází zde pouze k odrazu, ale také k lomu do skla, které změní dráhu lomu vyznačenou šipkami od sebe na obrázku č. 2.3. Podle druhu a vlastností materiálu se vlna více odráží, nebo více prochází do jiného prostředí vlivem typu odrážené plochy, jako je vidět z obrázku při průchodem skrz sklo a vzduch.

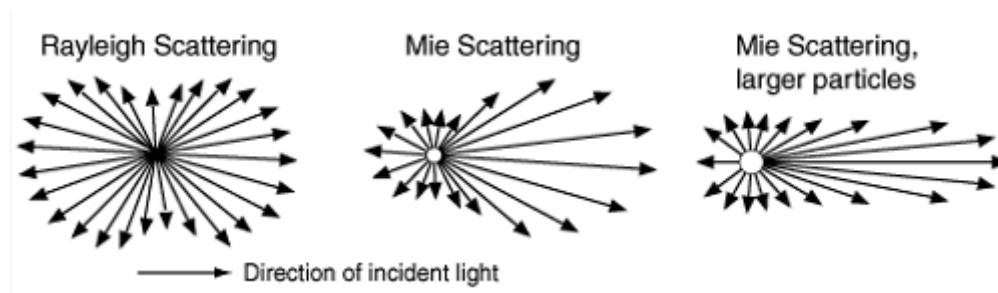
Dalším jevem je ohyb (diffraction), který lze vidět na obrázku č. 2.4. Ohyb je jev, který umožňuje vlně šířit se do oblasti optického stínu. Oblast optického stínu je plocha nepřímo viditelná z hlediska přímé viditelnosti jedné antény na druhou. Představme si překážku na obrázku č. 2.4 jako horu. Je vidět, že šířené vlny se ohýbají i za překážku. Do tohoto místa by se vlny neměly šířit kvůli z důvodu nepřímé viditelnosti. Takové vlnění ovlivněné ohybem je dosti silné abychom jej u bezdrátového spojení na straně vysílače dokázaly zachytit. Je třeba počítat s tím, že v případě takto navázaného bezdrátového spojení nebude spoj zcela stabilní, rychlý ani spolehlivý. Důvodem je překážce v cestě šíření signálu z vysílače do přijímače.



Obrázek 2.4: *Ohyb vln*

Na obrázku č. 2.4 je vyobrazen ohyb vln. Představme si tučně vyobrazenou část jako kopec a kruh na vršku kopce jako bod ohybu. Vidíme, že šířené vlny se ohýbají a na vršku a rozcházejí do více směrů. Dokonce i do naší oblasti optického stínu, která se nachází za kopcem.

Posledním jevem se, kterým se můžeme setkat je rozptyl (scattering). Nastává například při dešti, kdy vlna prochází dešťovou kapkou. Signál se skrz z ní rozptýlí do různých směrů s různou intenzitou předvedenou na obrázku č. 2.5.



Obrázek 2.5: *Rayleighův a Mieův rozptyl. Šipkou dole na obrázku je vyznačeno odkud přichází rozptylované záření.[16]*

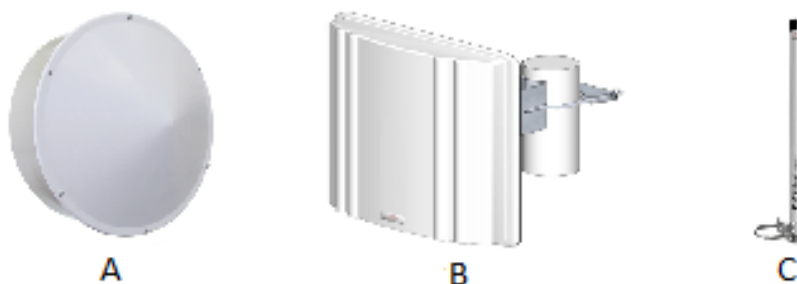
## 2.6 Typy bezdrátových antén

U bezdrátových antén potřebujeme zaručit podle typu určitou sílu signálu nebo pokrytí signálem. Například u páteřních spojů je žádoucí co nejmenší okolní zásah do našeho spojení mezi vysílačem a přijímačem. Z takového důvodu volíme některou z 3 typů antén, podle jejich schopností vysílat signál. Mezi základní typy antén patří antény sektorové, směrové nebo všesměrové. Rozdílem mezi těmito anténami je úhel vyzařování signálu. Čím nižší je úhel vyzařování, tím je anténa méně náchylná na rušení okolních antén.

Směrové antény využívají pro šíření signálu úhel od 5 stupňů do 30 stupňů. Využívají se nejčastěji jako páteřní spoj kvůli použitému úhlu v šíření signálu. Nižší úhly jsou méně náchylnější na okolní rušení. Mezi směrové antény patří například parabolická anténa na obrázku č. 2.6 označená číslem A.

Sektorové antény vyzařují signál v úhlu od 30 stupňů do 120 stupňů. Tyto antény jsou nejvhodnější pro pokrytí signálem. Využívají se hlavně ve větším množství, kdy se používá více antén pro pokrytí větší oblasti. Díky tomu, že je těchto antén více a mají úzký úhel vyzařování, tak jsou odolnější na vliv okolních vysílačů. Tímto je jejich kvalita bezdrátového spojení zlepšena. Příklad sektorové antény je uveden na obrázku 2.6 pod číslem B.

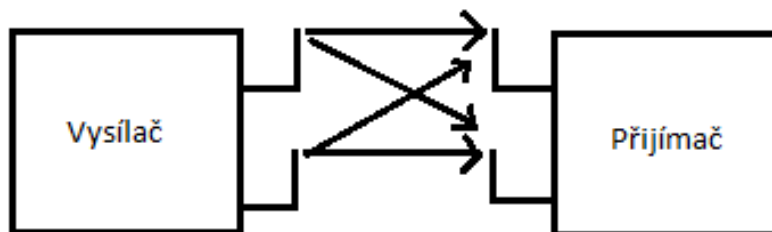
Všesměrové antény šíří signál okolo sebe čili v úhlu 360 stupňů. Tyto antény vysílají v horizontálním úhlu 360 stupňů a ve vertikálním 10 stupňů dle konstrukce antény. Výhodou je velká oblast pokrytí jednou anténou. Nevýhodou je velká citlivost na rušení z ostatních vysílačů. Vhodné použití pro tento typ antén je v oblastech, kde je nízká úroveň zarušení frekvenčního pásma nebo menšího počtu použití vysílacích antén. Příklad takovéto antény je na obrázku č. 2.6 pod číslem C.



Obrázek č. 2.6: *Obrázek typů vysílacích antén*

## 2.7 Technologie MIMO

Pro zvýšení přenosové rychlosti a stability bezdrátového spoje můžeme v pásmu 5 GHz využít také technologii více vstupů a více výstupů MIMO (Multiple Input Multiple Output). Mezi tyto technologie patří různé kombinace v počtu vstupů a výstupů. Další takové technologie jsou více vstupů jeden výstup MISO (Multiple Input Single Output), jeden vstup více výstupů SIMO (Single Input Multiple Output) a jeden vstup jeden výstup SISO (Single Input Single Output). Prvním standardem, který využil technologie MIMO je standard 802.11n. Smysl této technologie je využití vícecestného šíření pro přiřazené pásmo 5 GHz s pomocí více antén jak na vysílací straně, tak na přijímací straně. Příkladem je bezdrátový spoj, který má na přijímací a vysílací straně 2 antény. Takový spoj označujeme 2x2 MIMO a je uveden na obrázku č. 2.9. Spoj bude tedy vysílat jak ve vertikální rovině, tak v horizontální rovině. Díky využití obou rovin se zvyšuje přenosová rychlost i stabilita bezdrátového spojení. Existují také i 3x3 MIMO nebo 4x4 MIMO spoje, které vysílají ve více jak dvou rovinách.



Obrázek č. 2.9: Příklad 2x2 MIMO bezdrátového spoje

## 2.8 Problémy s šířením bezdrátového přenosu v pásmu 5 GHz

Všeobecným problémem šíření bezdrátového signálu v pásmu 5 GHz je zarušení ostatními vysílači, které pracují ve stejných pásmech. V pásmu 5 GHz je možné vysílat podle ČTU (český telekomunikační úřad) mezi frekvencemi od 5500 MHz do 5700 MHz, které obsahují 11 kanálů pro vysílání. Těchto 11 kanálů je určeno pro vysílání ve vnějším prostředí. Tyto kanály se počítají od počátečního kanálu 5500 MHz po 20 MHz. Pouhých 11 kanálů nemůže vystačit pro všechny vysílací body od různých ISP providerů. Je klasickým jevem, že při větším počtu vysílacích antén v jednom kanálu se ruší všechny vysílače navzájem mezi sebou. Dochází zde k přehlcení kanálu. Řešením takové situace může být změna polarizace, změna frekvenčního pásma, naladění na jiný kanál nebo zakoupení jiného typu antény méně náchylné na rušení anebo pracujícího v jiných frekvencích. Příkladem takové antény může být anténa, která dokáže vysílat v pásmu 10 GHz. Toto pásmo není v dnešní době ještě natolik přehlceno a z toho důvodu je vhodnější volbou pro bezdrátové vysílání o větší datové propustnosti.

Počasí je další důvod ovlivňující bezdrátový přenos. Pásmo 5 GHz dokáže do několika kilometrů spolehlivě přenést signál z vysílače do přijímače v dostatečné kvalitě pro stabilní přenos. Dostatečnou kvalitou je myšleno takové spojení, kdy bezdrátový přenos u spoje nepostihují výpadky či časové zpoždění (odezva).

Při stavění bezdrátového spoje se potýkáme po čase také s geologickými potížemi. Při stavbě bezdrátového spoje se často stává, že se neberou v úvahu změny okolí. Těmito změnami jsou myšleny například stromy, nově postavené rodinné domy, nově postavené vysokého vedení elektrického napětí, okolní přírodní porost a jiné vlivy. Z toho důvodu je vhodné vybírat místa pro antény na co nejvyšších místech a s co nejlepším rozhledem. Deštivé počasí nebo sníh dokáže spojení narušit podobným způsobem. Důvodem je rozptyl vysílaného signálu od kapek deště nebo od sněhu. Sníh nesnižuje kvalitu bezdrátového přenosu stejným způsobem jako déšť, protože se od něj signál nerozptyluje jako u kapek deště. Sníh nejčastěji působí jako překážka a částečný rozptyl. Hlavním důvodem je překrytí bezdrátových antén sněhem (zasněžení). Tímto se sníh staví do cesty jako překážka pro bezdrátový spoj a narušuje bezdrátové spojení mezi vysílačem a přijímačem.

V oblastech, kde je vysoká míra zarušení od ostatních vysílačů například v městech, musíme řešit nejen vhodné umístění antény, ale také v jaké polarizaci vysílá. Když je pásmo vertikálně zarušené, bude vhodnější použít polarizaci horizontální kvůli menšímu zarušení a naopak. Tímto dosáhneme kvalitnějšího bezdrátového spojení. V případě, kdy nevyhovuje změna polarizace, ani změna kanálu, je možné zvolit jiné antény s jinou šířkou pásma například 10 GHz spoje neboli i vyšší.

Další možností je použít technologii MIMO, která nám rozšíří vysílání spoje. Za použití více antén, jak na přijímací straně, tak na vysílací straně spoje se zvyšuje přenosová rychlost.

Poslední možností je použít jiný typ vysílacích antén. U vysílačů, které jsou postaveny na vysokých místech nebo ve městech s vysokým zarušením kanálů, je potřeba ovlivnit kvalitu signálu na vysílací straně. V místech s menším zarušením můžeme využít všesměrovou anténu bez obav o výslednou přenosovou rychlost. V místech většího zarušení, jako jsou města nebo místa na kopcích ve vyšší nadmořské výšce, je vhodné použít směrové antény, které jsou schopny odfiltrovat část zarušeného kanálu a poskytnout tak stabilnější a lepší přenos.

## 3 Analýza pokrytí signálem standardem 802.11ac

### 3.1 IEEE 802.11ac

Při využívání standardu 802.11n přestává stačit jeho přenosová rychlost. Z toho důvodu se v roce 2011 začal vyvíjet nový standard 802.11ac, který byl oficiálně uveden na trhu od začátku roku 2013.

Od standardu 802.11ac se očekává zvýšení přenosové rychlosti, stabilnější spojení a zlepšení dosahu pokrytí signálem. Teoretická přenosová rychlost je 1,3 Gb/s. Této přenosové rychlosti je dosaženo rozšířením standardu 802.11n, a to v šířce pásma z 20 MHz až do 160 MHz oproti původní šířce 20/40 MHz. Ke zvýšení přenosové rychlosti přispěla také změna modulace z 64-QAM až na 256-QAM a přidáním modulace OFDM. Dalším výhodou je zlepšení technologie MIMO v rozšíření prostorových streamů až na osm. Každé připojené zařízení bude moci využívat až 3 streamy současně. Při připojení více zařízení byl u standardu 802.11n problém, že stanice mohla komunikovat pouze s jedním zařízením bez ohledu na počet streamů. Nový standard již povinně podporuje MU-MIMO multi-user MIMO (Multiple Input – Multiple Output), který umožňuje vícestreamově komunikovat s několika zařízeními současně. Pokud by bylo k základně (směrovači) připojeno například zařízení s podporou pro 3 streamy, třeba notebook a mobil s podporou jedním streamem, tak se využijí dohromady 4 streamy. Pro notebook 3 streamy a pro mobil 1 stream. Díky funkci MU-MIMO nedojde k ovlivnění přenosové rychlosti mezi připojenými zařízeními ke směrovači.

K lepšímu pokrytí signálem je dosaženo přidáním nové funkce Beamforming[12], která zajišťuje formování signálu, aby se signál dostal přes překážky v co nejlepší kvalitě. Beamforming funguje na principu načasování fáze tak, aby dorazil k cíli signál v co nejlepší kvalitě. Jinými slovy dokáže dynamicky měnit směr vyzařovaného signálu a tím vylepšovat přenosové parametry.

Dále bylo vyvinuto zařízení se standardem 802.11ac pro venkovní prostředí (outdoor). Jedná se o zařízení mikrotik SXT-HPacD. U tohoto zařízení jsou provedeny obdobné změny jako u vnitřních (indoor) zařízení. Novinkou však je specifikování pro vysílání v jednotlivých kanálech. Jelikož při bezdrátovém přenosu je ve vysílání určen nějaký kanál ve skutečnosti se vysílá i v podkanálech dle nastavení šířky pásma. Například zařízení v pásmu 5 GHz vysílá na kanálu 5600. Ve skutečnosti vysílá také v podkanálech 5610, 5590, 5605 a 5595 se šířkou pásma 20 MHz. Novinkou je přiřazení priority kanálu. Jeden kanál je určen jako centrální a ostatní jsou rozšířené. V zařízení Mikrotik jsou tyto kanály označeny jako Ceee, eCee, eeCe nebo eeeC[10].

## 3.2 Software Ekahau Site Survey

Teoretické rozbory pokrytí signálem jsem se rozhodl simulovat v prostřední Ekahau Site Survey. Jedná se o užitečný software, který dokáže simulovat směrovače od různých výrobců s různými standardy od technologie 802.11b až po technologii 802.11ac v nejnovější verzi. Výhodou tohoto softwaru je možnost změnit parametry prostředí a směrovače na takové jaké potřebujeme. Co se týče prostředí, je možné nastavit v metrech délku a šířku pater v určitých objektech například rodinné domy, panelové domy a dalších. Dále obsahuje mnoho různých materiálů, u kterých lze zjistit ztrátu signálu při průchodu skrz ně dle náročnosti překonání. Nalezneme zde klasickou cihlovou zeď, okna, střechy, dveře a některé atypické překážky jako tenké okna s kovem, schody nebo výtahy.

U směrovačů je v tomto programu možné nastavit výrobce zařízení a jeho vlastnosti. Najdeme zde mnoho výrobců například Cisco, D-Link, Zyxel a mnoho dalších. Dále je možné nastavit několik klíčových vlastností směrovačů například zisk antén, regulaci výkonu samostatného směrovače nebo typ antén směrovače (směrové, všesměrové).

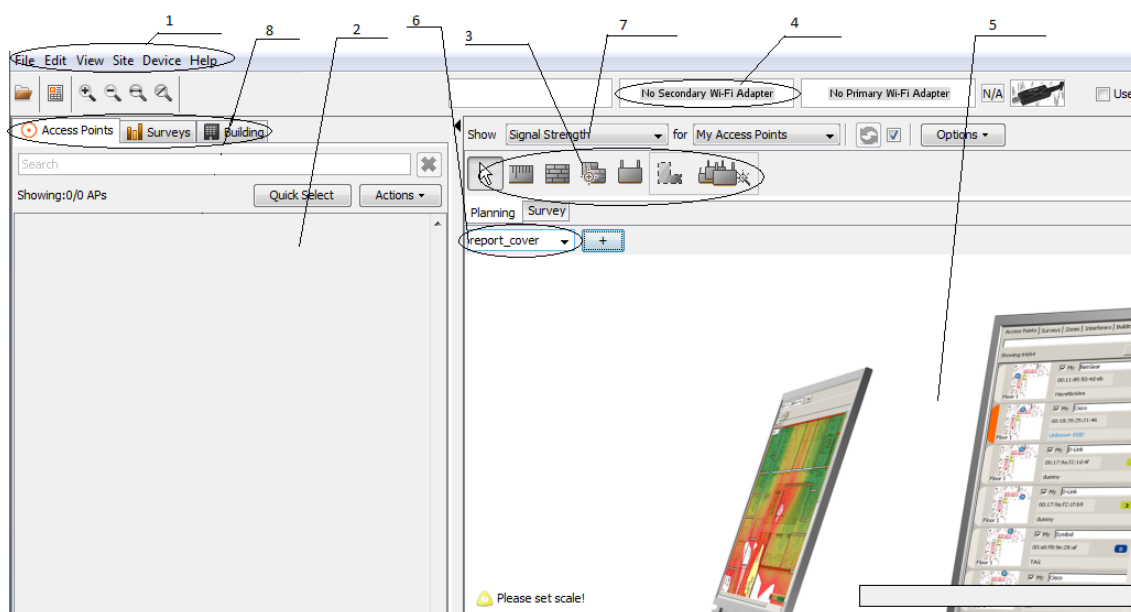
Toto prostředí je vhodné pro detailní simulaci různých směrovačů, avšak neobsahuje směrovače od výrobců TP-Link nebo ASUS, na kterých bylo prováděno praktické měření. Tento problém se dá vyřešit tím, že použijí jiného výrobce, který však využívá stejný standard 802.11ac. Je však nutné přenastavit hodnoty pro vysílání na simulovaném zařízení jako mají směrovače od ASUS a TP-Link. V tomto ohledu je program Ekahau Site Survey flexibilní.

Při vytváření prostředí v tomto programu je potřeba si navrhnout měřené prostředí v nějakém programu, který umí ukládat vykreslené prostředí ve formátu .png, .jpg nebo .jpeg například program malování. Poté co máme prostředí navrhnuté je potřeba ho do programu nahrát pomocí základní nabídky, která se nachází v levém horním rohu. Dále stačí pomocí šablony překreslit návrh skutečnými překážkami přímo v programu. Jakmile máme vykreslené prostředí v programu posledním krokem je zvolit si místo vysílání pro směrovač. Směrovač lze vybrat z nabídky směrovačů.

Prostředí tohoto programu je skvělé zpracované a přehledné. Ukázka prostředí je na obrázku číslo 3.1.



### 3 Analýza pokrytí signálem standardem 802.11ac



Obrázek 3.1: Názorná ukázka prostředí Ekahau Site Survey

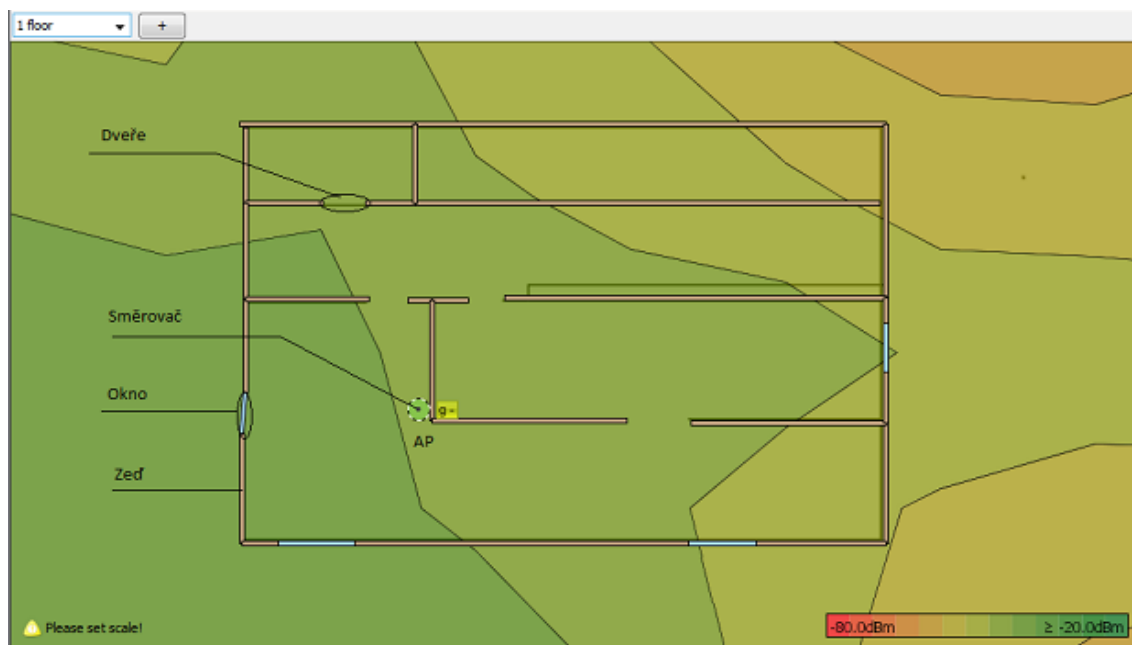
- 1 - Hlavní nabídka
- 2 - Okno pro práci s navrženými prostředními a směrovači
- 3 - Nabídka směrovačů a překážek
- 4 - Informace o okolních směrovačích, počtu směrovačů a síle signálu
- 5 - Pracovní plocha, kde je nahrát obrázek pro výslednou simulaci
- 6 - Výběr patra pro simulaci
- 7 - Výběr možností co má program simulovat
- 8 - Přepínání mezi směrovači a navrženými prostředními

### 3.3 Simulace pokrytí signálem routeru standartem 802.11ac

K simulaci pokrytí signálem jsem využil vlastní návrh spodního a vrchního patra rodinného domu, v kterém bydlím. Tyto navrhnuté patra jsem vykreslil v programu malování. Poté jsem ho vložil do programu Ekahau Site Survey. V tomto programu je ještě potřeba nastavit šířku a délku pater. Nastavil jsem délku patra na 13 metrů a šířku na 7,8 metrů. Poté jsem v nich simuloval pokrytí skrz překážky. V tomto programu bohužel nejsou obsaženy směrovače od výrobce ASUS. Na těchto směrovačích je prováděno měření pokrytí i přenosové rychlosti. Rozhodl jsem se nahradit tyto směrovače jiný směrovači od jiných výrobců. Náhradní simulované směrovače jsem vybíral podle pásem, jelikož hodnoty pro vysílání lze v programu změnit. Zařízení ASUS-A56U jsem nahradil za směrovač Zyxel ANT 2006 pro pásmo 2,4 GHz a ANT 5006 pro pásmo 5 GHz. Poté jsem nastavil vysílací parametry směrovače jako zisk antén (dBi) nebo vysílací výkon zařízení (mW) jednotlivě podle simulovaného směrovače.

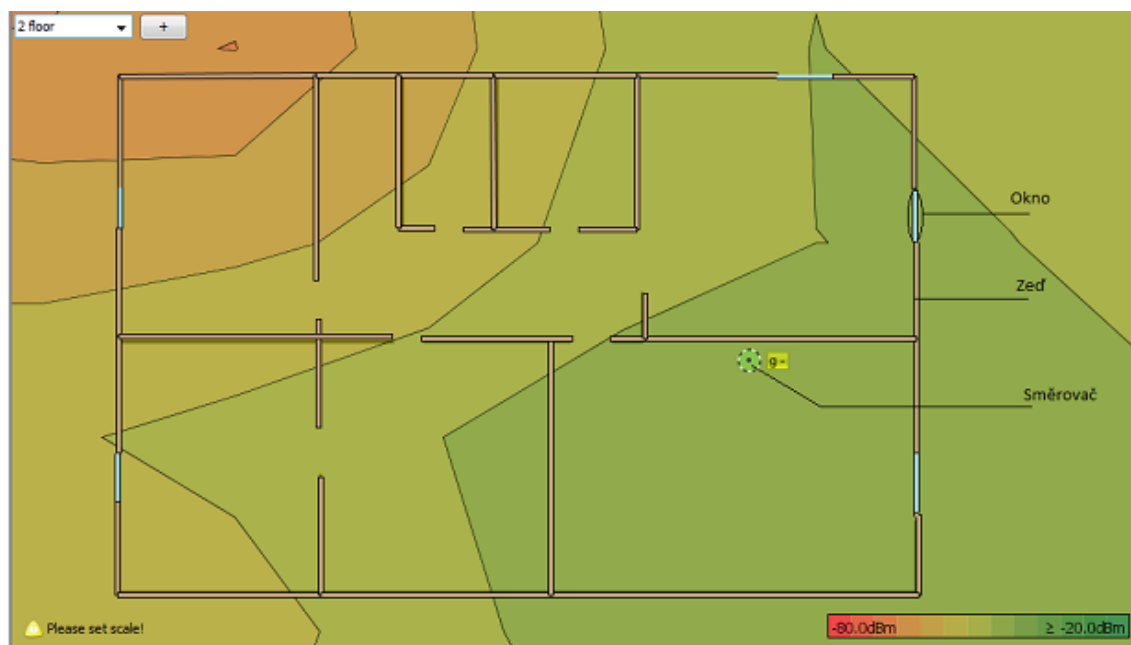
#### Simulace pokrytí v pásmu 2,4 GHz a 5 GHz

Pro tuto simulaci jsem použil zařízení Fortress FA-2090 místo zařízení ASUS-A56U. Zařízení v programu jsem přenastavil na stejné vstupní hodnoty jako má nastavený směrovač od výrobce ASUS. Zisk antén je nastaven na 6 dBi a výkon 200mW. První simulaci s tímto zařízením jsem udělal na spodním patře domu. Zdi jsou klasické cihlové, okna skleněná bez kovu a dveře. Směrovač je umístěn v místnosti na stolku. Pro simulaci v 5 GHz pásmu jsem použil zařízení Fortress FA-5090 místo zařízení ASUS-A56U. Zařízení jsem v programu přenastavil na vstupní hodnoty zisk antén je 6 dBi a výkon 200mW.

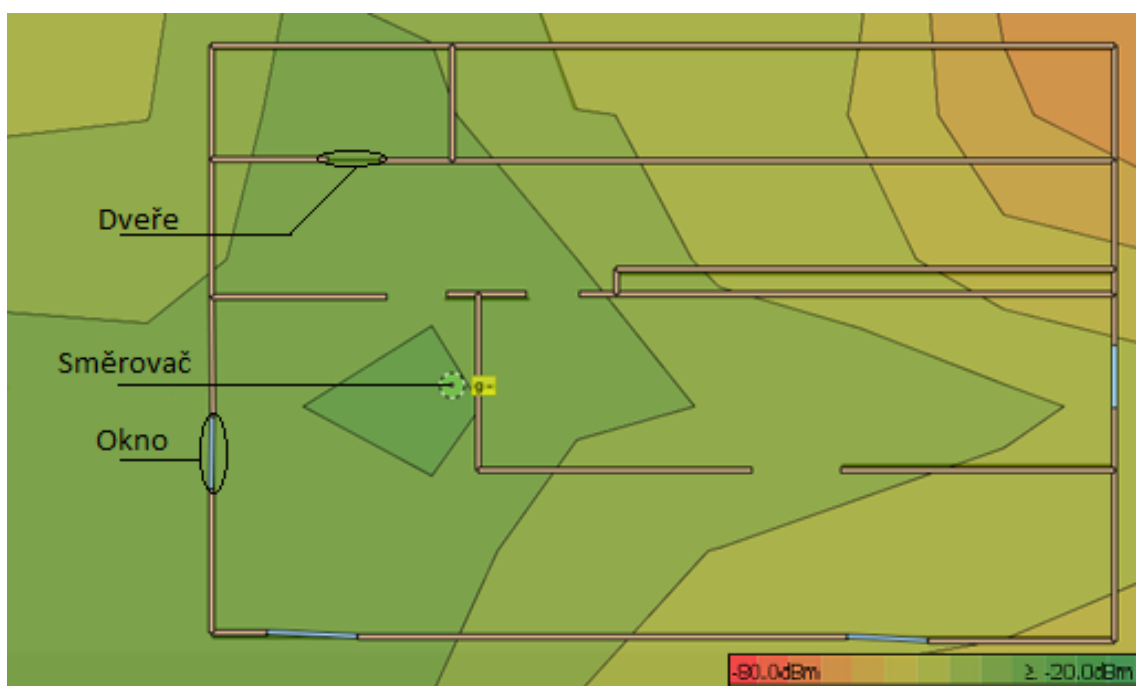


Obrázek 3.2: Šíření signálu v pásmu 2,4 GHz ve spodním podlaží

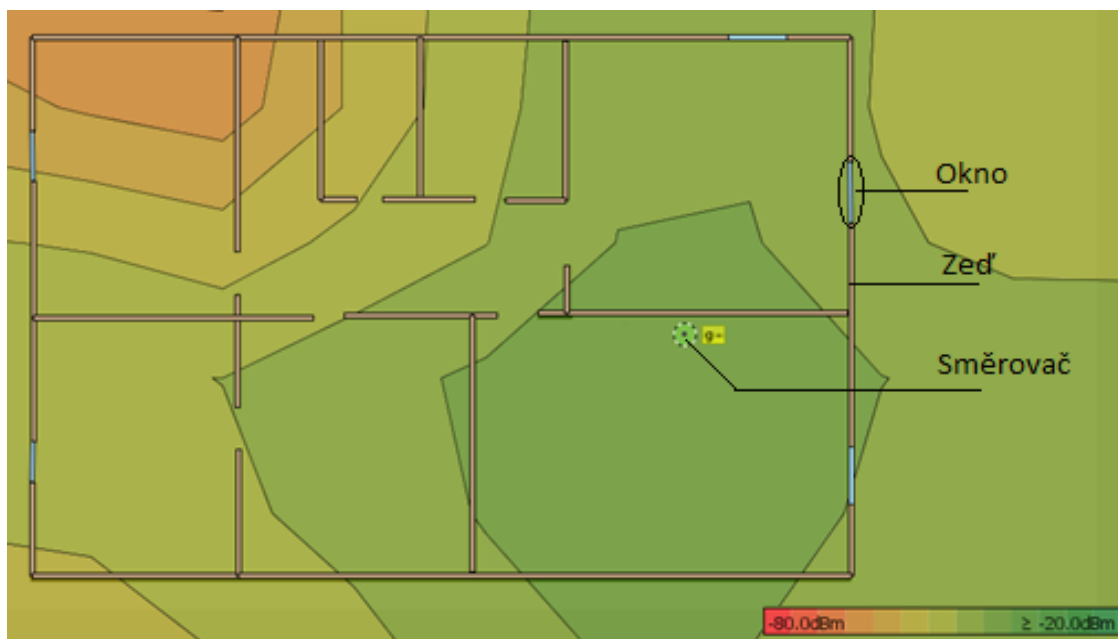
### 3 Analýza pokrytí signálem standardem 802.11ac



Obrázek 3.3: Šíření signálu v pásmu 2,4 GHz ve vrchním podlaží



Obrázek 3.4: Šíření signálu v pásmu 5 GHz ve spodním podlaží



Obrázek 3.5: Šíření signálu v pásmu 5 GHz ve vrchním podlaží

Z obrázků v pásmu 2,4 GHz je vidět, až do jaké míry má vliv prostředí na signál. Na obrázku č. 3.2 je vykresleno spodní patro a na obrázku č. 3.3 je vykresleno vrchní patro. Z obrázku č. 3.2 je vidět, že spodní patro má mnohem více volného prostoru pro šíření signálu odrazem. V tomto patře je výrazně méně zdí než ve vrchním patře. Z toho vychází zelené zbarvená oblast, která je mnohem větší než ve vrchním patře. Vrchní patro má však více zdí a je konstrukčně postaveno složitěji pro pokrytí signálem. Dokazují to barevně vyznačené oblasti na obrázcích. Na prvním obrázku je téměř celé patro pokryté skvělým signálem značící zelenou a světle zelenou oblast. Na druhém obrázku jde vidět, že přes více zdí a menší plochu pro odraz signálu dochází k výraznějšímu útlumu signálu. Z těchto teoretických lze předpokládat, že pokrytí bude po celém spodním patře stabilní.

Na obrázku č. 3.4 simulovaném v pásmu 5 GHz je vykresleno pokrytí spodního patra. V porovnání s pásmem 2,4 GHz zde dochází k větší ztrátě síly signálu. Hlavně na místech u rohu zdi nebo v jiné místnosti. Ve vrchním patře, které je vykresleno na obrázku č. 3.5 vidíme, že signál nedokázal pokrýt celé patro tak dobře jako ve spodním patře. V místnosti, kde je umístěn směrovač, signál pokryl celou místnost spolu s okolními místnostmi. U dalších vzdálenějších místností například v oblasti označené žlutou a oranžovou barvou, již může docházet k delším časovým odezvám nebo dokonce výpadkům signálu. Výpadek signálu lze považovat za událost, která naznačí chvilkové odpojení klienta od směrovače a znovu jej připojí. Žlutá oblast značí místo signálu, kde bude pokrytí ještě stabilní pro bezdrátové spojení se směrovačem. Oranžová oblast přecházející pomalu do červené barvy značí oblast, ve které je útlum signálu tak vysoký, že se nebude možné ke směrovači připojit.

## 4 Ověření dosaženého pokrytí praktickým měřením

Pokrytí signálem v simulované prostředí, například v počítačových softwérech slouží hlavně pro teoretický odhad pokrytí signálu. Tyto programy vypočítávají pokrytí podle nastavených parametrů. Mezi tyto parametry patří například útlum signálu přes určitou překážku například zeď, okno, dveře a jiné. Zřídka kdy je nasimulovaný signál shodný s reálným měřením. Z tohoto důvodu je potřeba pokrytí signálem změřit reálně. K takovému měření je třeba mít klientské zařízení například notebook, který je vybaven potřebným softwérem pro měření síly signálu.

### 4.1 Metodika měření

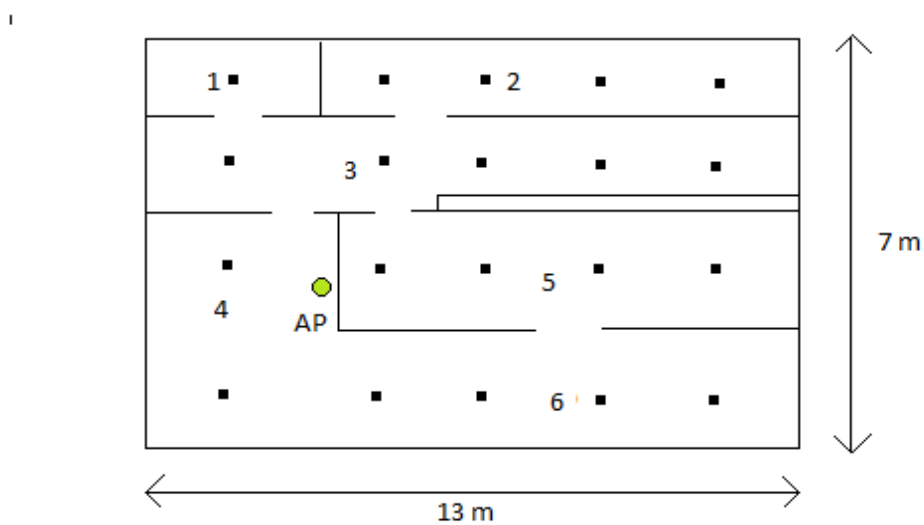
Pro zjištění pokrytí signálem jsem využil dva notebooky od výrobce HP z obrázku č. 4.2. Dále externí bezdrátovou kartu ASUS-AC53 podporující standard 802.11ac společně se směrovačem ASUS-A55U na obrázku č. 4.1.



Obrázek 4.1: Router ASUS-A55U a wifi karta USB ASUS-AC53

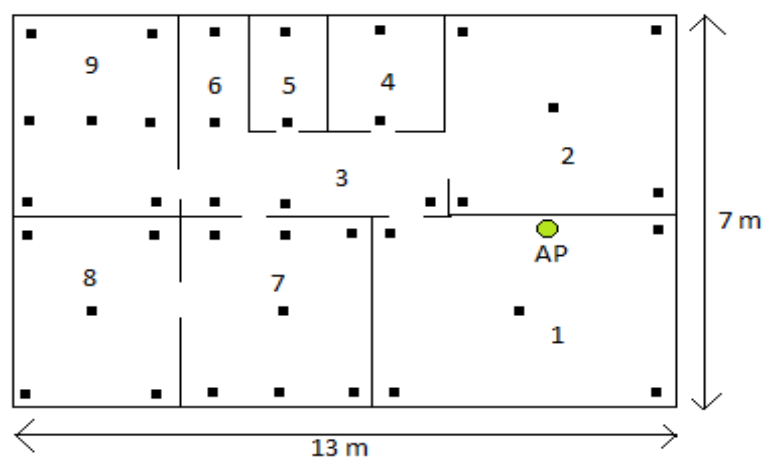


Obrázek 4.2: Notebooky použité pro měření vlevo HP-Pavilion dv6-6080ed v pravo HP-Pavilion 6c10e



Obrázek 4.3: Půdorys spodního patra





Obrázek 4.4: *Půdorys vrchního patra*

Pro zjištění pokrytí signálem jsem využil dvě patra rodinného domu, v kterém bydlím a blízké okolí domu. V blízkém okolí jsem využil vzdálenost zhruba 3 metrů od okraje domu. Oblast 3 metrů po obvodu domu je volné prostranství bez překážek. Spodní patro rodinného domu je na obrázku č. 4.3 a vrchní patro domu je na obrázku č. 4.4. Ve vnitřních prostorách se nachází překážky například klasické cihlové zdi, okna a dveře. Pro měření pokrytí signálem ve vzdálenosti 70 metrů jsem zvolil ulici před rodinným domem. Tato ulice je vyobrazena na obrázku č. 4.5. V této ulici nejsou v cestě pro měření pokrytí signálem žádné překážky jako například parkující auta.



Obrázek 4.5: *Měření vzdálenosti dosahu signálu na ulici Kubínová*

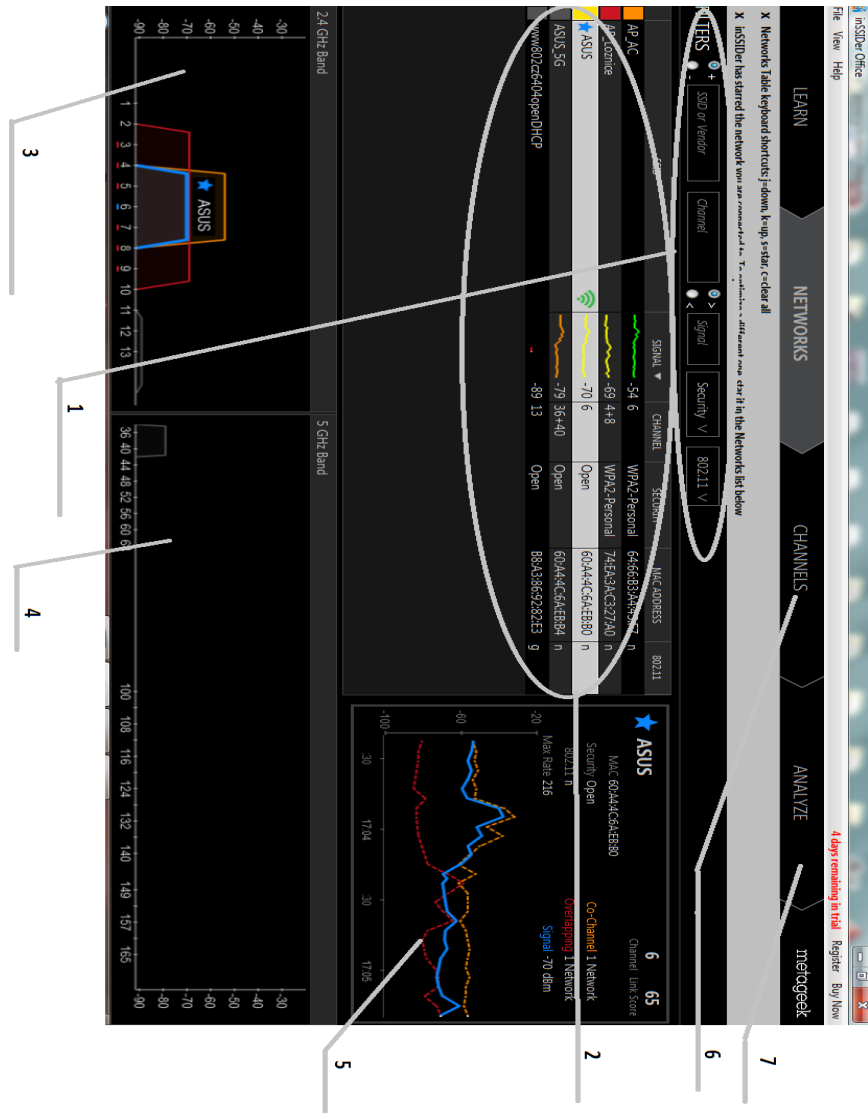
#### 4 Ověření dosaženého pokrytí praktickým měřením

Měření dosahu signálu jsem prováděl ve dvou programech. První program je od výrobce ASUS určený přímo pro bezdrátovou síťovou kartu ASUS-AC53. Ukázka programu je na obrázku č. 4.6. Tento program však poskytuje nedostatečné množství informací a proto je nutné využít i jiný dostupný program jako je *inSSIDder office*. Tento program má výhodu oproti programu od výrobce ASUS v tom, že zobrazuje nejen všechny důležité informace jako SSID, kanál na kterém vysílá, sílu signálu, ale také dokáže zobrazovat překrývání (overlapping) s jinými směrovači a časovou křivku s informacemi o vysílání za určitý čas. Ukázka softwaru *inSSIDder office* je na obrázku č. 4.7. Program je také schopen filtrovat směrovače podle zabezpečení, názvu směrovače SSID(Service Set Identifier), použitého standardu nebo síly signálu.



Obrázek 4.6: Ukázka programu ASUS-AC53 adapter





Obrázek 4.7: *Program inSSIDer office*

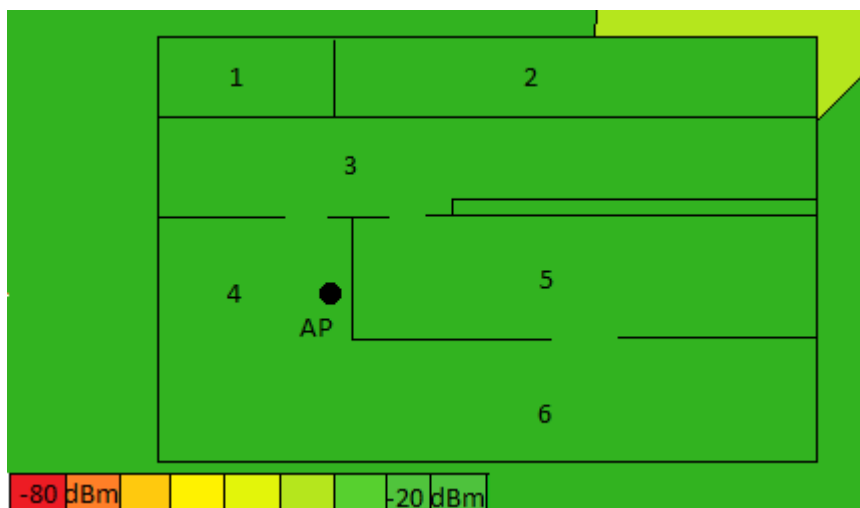
- 1 - Filtr bezdrátových směrovačů
- 2 - Přehled bezdrátových směrovačů se základními informacemi
- 3 - Oblast pro vyznačení zařízení vysílaných v pásmu 2,4 GHz
- 4 - Oblast pro vyznačení zařízení vysílaných v pásmu 5 GHz
- 5 - Oblast vyznačující sílu signálu okolních bezdrátových směrovačů v časové ose
- 6 - Přehled kanálů, v kterých jednotlivé zařízení vysílají
- 7 - Možnost analýzy okolí

Měření pokrytí signálem ve vnitřním prostředí bylo provedeno ve dvou patrech výše zmíněných v této kapitole. Pro zapisování síly signálu jsem využil místo tabulky papíry s vytištěnými půdorysy vrchního i spodního patra. První měření jsem provedl v pásmu 2,4 GHz. Začal jsem připojením USB wifi karty ASUS-AC53 do notebooku. S notebookem jsem se připojil na směrovač umístěný na místě z obrázku č. 4.3. V tomto půdorysu spodního patra jsem měřil sílu signálu. Pohyboval jsem se po bodech označených v obrázku. Vždy jsem začínal z místnosti číslo 1. Od začátku měření jsem měl spuštěný program od výrobce ASUS pro měření signálu a program *inSSIDer*. Během měření jsem se na každém vyznačeném bodě v obrázku č. 4.3 zastavil, položil notebook a po několika vteřinách zapsal ustálenou hodnotu útlumu signálu. Takto jsem postupně proměřil místnost po místnosti označené čísly. V každé místnosti jsem měřil útlum signálu na jednotlivých bodech z obrázku a zaznamenával jsem hodnoty. Po skončení měření v určité místnosti podle vyznačených bodů, jsem se dále přesunul z místnosti 1 do následující místnosti číslo 2. Zde jsem opět změřil na určitých bodech útlum signálu a pokračoval do další místnosti. Tímto způsobem jsem postupně proměřil každou místnost v patře. Při měření jsem se pohyboval po místnostech tak, jak jdou číselně za sebou a to od 1 po 9. Po doměření jsem se s notebookem přemístil zpět na původní místo a přepojil jsem se na pásmo 5 GHz. Provedl jsem obdobné měření spodního patra ale tentokrát pro pásmo 5 GHz. Po doměření spodního patra jsem měření následovně několikrát zopakoval. Dále jsem se přesunul do vrchního patra na obrázku č. 4.4, kde jsem měřil podobným způsobem jako u spodního patra. Podobným způsobem je myšlena pouze změna v počtu měření. Jelikož vrchní patro konstrukčně obsahuje více zdí a místností, je potřeba kvůli přesnosti útlumu signálu na určitém místě v patře přidat do každé místnosti několik měřících bodů navíc.

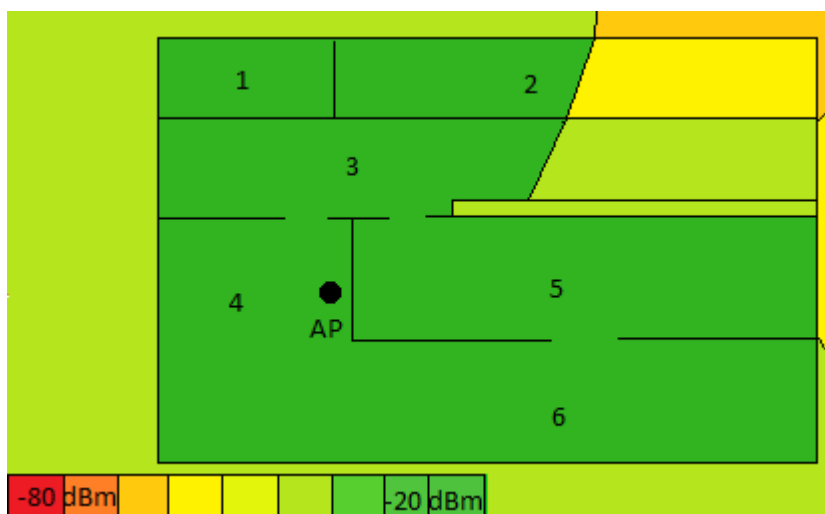
Cílem měření ve venkovním prostředí (outdoor) bylo zjistit, jak daleko se signál dokáže šířit a s jakým útlumem. Měření bylo prováděno pro pásma 2,4 GHz a 5 GHz s viditelností bez překážek od směrovače po měřicí notebook. Na obrázku č 4.5 je vyobrazena měřená oblast pro danou vzdálenost. Tuto vzdálenost jsem si předem cvičně změřil předběžným měřením. Důvodem je zjištění dosahu stabilního spojení mezi směrovačem a notebookem. Využil jsem přenosný stůl pro položení notebooku a stůl s prodlužovacím kabelem pro napájení a uložení směrovače. Na stůl jsem položil směrovač a připojil k němu přes bezdrátovou kartu notebook. Měření síly signálu jsem prováděl v pásmech 2,4 GHz a 5 GHz a to po 10 metrech. Při každém odstupu po 10 metrech jsem zapsal sílu signálu do tabulky č. 4.1 uvedenou níže v této kapitole.

## 4.2 Výsledky měření

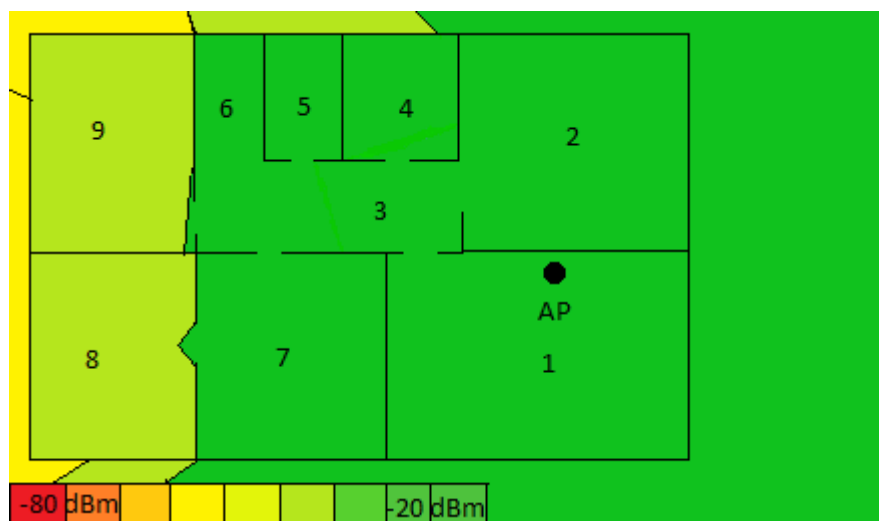
Výsledné měření ve vnitřním prostředí jsem překreslil do počítačové podoby pro lepší přehlednost naměřených informací. Spodní i vrchní patro a pásmo 2,4 GHz a 5 GHz jsem vykreslil zvlášť. Na obrázcích je vykreslena síla signálu v legendě vlevo dole.



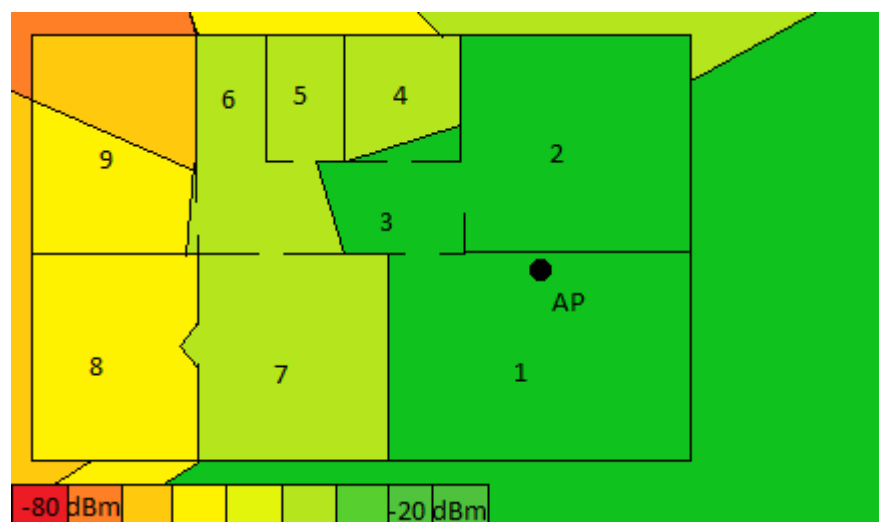
Obrázek 4.8: Simulace v pásmu 2,4 GHz ve spodním podlaží



Obrázek 4.9: Simulace v pásmu 5 GHz ve spodním podlaží



Obrázek 4.10: Simulace v pásmu 2,4 GHz ve vrchním podlaží



Obrázek 4.11: Simulace v pásmu 5 GHz ve vrchním podlaží

Srovnáním s teoretickou simulací jsou výsledky praktického měření odlišné. U spodního podlaží na obrázku č. 4.8 v pásmu 2,4 GHz se po celé oblasti pohybovala síla signálu v hodnotách označených zelenou barvou dle legendy. Výjimkou bylo několik hodnot z venkovní části u místnosti číslo 2. Zde se hodnoty pohybovaly už na hranici mezi světle zelenou a zelenou barvou což značí útlum signálu mezi 38 dBm a 45 dBm. Všechny ostatní hodnoty v zelené oblasti se pohybovaly od -23 dBm do -35 dBm. Oproti simulaci na obrázku 3.2 je v praxi naměřen mnohem nižší útlum signálu. U měření spodního patra v pásmu 5 GHz jsou naměřené hodnoty odlišnější. Porovnáním teoretické simulace na obrázku 3.3 a praktického měření na obrázku 4.9 je rozdíl v pokrytí znatelnější. U praktického měření je většina síly signálu v zelené a světle zelené oblasti. Simulace je oproti tomu z větší části v oblasti žluté, oranžové a červené barvy. V místech se zelenou barvou byl signál od -29 dBm do -39 dBm. Slabší signál se projevil uprostřed chodby, kde signál klesnul do světle zeleného označení až na -50 dBm. V místnosti číslo 2 tedy v pravém horním rohu signál klesl do žlutého označení. Útlum signálu klesl na hodnotu -68 dBm, což je na hraně mezi žlutým a oranžovým označením.

U vrchního patra v pásmu 2,4 GHz na obrázku 4.10 se měření téměř shodují s nasimulovaným pokrytím na obrázku č. 3.4. Rozdílem je oblast v zelené a světle zelené části, která je větší než v nasimulovaném prostředí. V této oblasti je naměřený útlum signálu od -25 dBm do -38 dBm. Oblast označená žlutou barvou je mimo vnitřní oblast a zde signál přeskakoval od 58 dBm do 62 dBm. Lze tedy vyvodit, že celé vrchní patro bude spolehlivě pokryto pásmem 2,4 GHz. S pásmem 5 GHz je pokrytí vrchního podlaží složitější. Nástup útlumu se zde projevil už v místnostech 4, 5, 6 a 7. V těchto místnostech klesl signál do světle zeleného označení a to na -53 dBm. Ve srovnání se simulací na obrázku č. 3.4 je pokrytí ověřené praktickým měřením mnohem kvalitnější. U vrchního podlaží na obrázku 4.11 v pásmu 5 GHz je oblast pokrytá slabším signálem větší. V okolních místnostech 1, 2 a v části chodby označené číslem 3, kde síla signálu kolísala od -36 dBm do -40 dBm, což je na hranici se světle zelenou a zelenou barvou. V místnostech 8 a 9 na levé straně půdorysu se síla signálu snížila až na hranici mezi žlutou a oranžovou barvou. Zde se síla signálu měnila v rozsahu od -62 dBm do -74 dBm. Výjimkou byla místnost 9, kde v levém horním rohu místnosti signál klesl do oblasti oranžové barvy na sílu signálu -74 dBm. Z výsledku lze vyvodit, že pokrytí signálem u vrchního patra bude stabilní mimo levý horní roh místnosti č. 9, kde už může docházet k nestabilitě.

Výsledky měření útlumu signálu na vzdálenosti 70 metrů jsem zanesl do tabulky č. 4.1. Zde si můžeme všimnout, jaký je rozdíl v šíření signálu mezi pásmy 2,4 GHz a 5 GHz na určitou vzdálenost. Hodnoty naměřené v této tabulce jsou v pásmech 2,4 GHz/5GHz. Signál v pásmu 2,4 GHz se dokázal rozšířit až na vzdálenost 70 metrů. Na delší vzdálenost byl signál kvůli útlumu prostředím téměř neměřitelný. Z tohoto důvodu jsem hodnoty na vzdálenost delší než 70 metrů nepoužil do tabulky naměřených hodnot. U pásma 2,4 GHz docházelo oproti pásmu 5 GHz k menšímu ovlivňování útlumu signálu na vzdálenost 70 metrů. Při prvních deseti metrech byl rozdíl v útlumu signálu nepatrný. Po dalších 10 metrech tedy při vzdálenosti 20 metrů byl útlum signálu znatelný. V pásmu 5 GHz signál se rozšířil do vzdálenosti 40 metrů. Ve větší vzdálenosti nebylo možné zachytit signál z 5 GHz pásma.

Měření síly signálu ve vzdálenosti 70 metrů v pásmech 2,4 GHz a 5 GHz						
(2,4 GHz / 5 GHz) dBm						
10 metrů	20 metrů	30 metrů	40 metrů	50 metrů	60 metrů	70 metrů
(-48/-52) dBm	(-54/-64) dBm	(-62/-71) dBm	(-69/-82) dBm	(-74/-) dBm	(-78/-) dBm	(-80/-) dBm

Tabulka 4.1: *Síla signálu měřená s odstupem 10 metrů do 70 metrů*

Rozdílem mezi simulovaným pokrytím a praktickým měřením je, že simulované prostředí nepočítají s některými novými technologiemi, které standard 802.11ac přináší. Jedna z těchto technologií je Beamforming, který standard 802.11ac obsahuje. Kvůli nedostatečnému vybavení softwaru jsou simulace méně přesné a je ovlivněna jejich přesnost odhadu pokrytí signálem. Rozdíl mezi simulací a praktickým měřením ovlivňuje také prostředí. Simulované prostředí mají obvykle v možnostech nastavení simulací pouze překážky jako jsou zdi, okna, dveře. Útlum signálu přes tyto překážky není vždy stejný. Záleží na typu jednotlivých překážek. Například obyčejná zeď se může skládat nejen z cihly ale i ze spousty jiného materiálu třeba z kovu. Kvůli takovým odlišnostem ve struktuře zdí jsou výsledné simulace méně přesné. Dále v těchto programech není možnost přidat jiný typ překážek například nábytek, který také ovlivňuje útlum signálu. Z těchto důvodů je praktické měření ovlivněno.

## 5 Proměření dosažených přenosových rychlostí

Pro měření přenosové rychlosti u směrovače ASUS-AC56U jsem využil program *jperf*. Program *jperf* je freeware (volný software bez placení za používání) používaný k testování přenosové rychlosti. Tento program testuje rychlost bezdrátového přenosu bez omezení hardware počítače či notebooku. Touto vlastností dokáže změřit účinně maximální přenosovou rychlost mezi klientem a serverem.

Začal jsem nastavením směrovače a programu *jperf* tak, abych dosáhl nejvyšší přenosové rychlosti. První jsem testoval přenosovou rychlost v závislosti na změnách hodnot v programu *jperf*. V programu jsem měnil hodnoty, dokud jsem nepřišel na ty, které propustí největší přenosovou rychlost. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 5.1. Dále jsem měnil parametry ovlivňující přenosovou rychlost u směrovače. Mezi tyto parametry patří například hodnota RTS, změna šířky pásma, změna kanálu, změna modulace, a jiné. Strana serveru je zapojena do směrovače kabelem UTP a strana klienta je připojena přes bezdrátovou wifi kartu ASUS-AC53. Hodnoty jsem získával z měření bez překážek, 1 překážka, 2 překážky, 3 překážky, ze vzdálenosti 70 metrů a nakonec měření skrz dostupné materiály. Přes tyto překážky jsem testoval rozdíl při šifrovaném přenosu WPA2-PSK a bez šifrování. Šifrovaný přenos je přenos chráněný heslem. Všechna měření jsem provedl v protokolech UDP a TCP. Rozdíl mezi protokoly TCP a UDP je v tom, že protokol TCP při bezdrátovém přenosu kontroluje, jestli z místa vysílání do místa příjmu došli všechny pakety. Díky kontrole každého paketu se dá očekávat, že přenosová rychlost bude nižší, než u protokolu UDP, který pakety nekontroluje. U všech kombinací v měření jsem provedl měření v programu *jperf* přes 1 stream, 3 streamy a 5 streamů.

Príslušenství, s kterými jsem měřil:

- Stolní PC- Gigabit ethernet port, SSD disk 160 GB – strana server
- Notebook- Gigabit ether port, HDD 7800 otáček, interní wifi karta se standardy b/g/n, externí wifi ASUS karta USB-AC53 – strana klient připojena do USB 2.0
- Směrovač značky ASUS-A56U
- Klientská strana ASUS karta USB-AC53

Tabulka 5.1: *Nastavení programu jperf*

Buffer Length	200 Mbytes
TCP Window Size	256 Kbytes
Max Segment Size	1 Kbytes

### 5.1 Měření přenosových rychlostí v pásmech 2,4 GHz a 5 GHz

Při měření přenosových rychlostí jsem si zvolil jako první měření pásmo 2,4 GHz. Měření jsem začal ve spodním patře rodinného domu z obrázku 4.4. Protokol pro testovaný přenos jsem v programu *jperf* nastavil na protokol UDP. Připojil jsem se do notebooku wifi kartu ASUS-AC53. S tímto notebookem jsem se připojil přes wifi kartu ASUS-AC53 na pásmo 2,4 GHz a změřil jsem přenosovou rychlost u směrovače ve vzdálenosti maximálně 1 metru. V této fázi směrovač nemá nastavené žádné šifrování. Přenosovou rychlost jsem změřil ve výše uvedených počtech streamů v této kapitole. Výsledek jsem zapsal do tabulky a posunul jsem se za první překážku. Hodnoty pro měření jsou stejné protokol UDP, pásmo 2,4 GHz a to po celou dobu měření. Po posunutí za první překážku jsem položil notebook na stabilní a pevné místo. Důvodem je věrohodnost změřených přenosových rychlostí. Při držení notebooku v ruce se může přenosová rychlost ovlivnit nevědomým pohybáním. Z toho důvodu jsem vybral pevný bod například stoličku pro stabilní umístění notebooku. Opět jsem v této pozici provedl měření přes výše uvedené streamy a hodnoty jsem zapsal do tabulky. Přesunul jsem se za druhou překážku a měření jsem za stejných podmínek zopakoval. Přesunul jsem se s notebookem za poslední třetí překážku. Měření jsem opět za stejných parametrů zopakoval a zaznamenal do tabulky. Po změření všech hodnot jsem měření provedl následovně vícekrát. To z toho důvodu, abych byl schopen porovnat všechny naměřené hodnoty a v poslední fázi vyloučení chyby měření.

Po tomto měření jsem začal nové měření opět do 1 metru od směrovače. Tentokrát jsem se přepojil pomocí wifi karty ASUS-AC53 na pásmo 5 GHz. Měření provedené v pásmu 2,4 GHz jsem krok od kroku zopakoval u pásma 5 GHz. Po změření pásma 5 GHz jsem provedl měření několikrát znovu. Tímto stylem jsem prováděl měření u všech kombinací uvedených níže:

- 2,4 GHz, protokol UDP, bez šifrování
- 2,4 GHz, protokol TCP, bez šifrování
- 2,4 GHz, protokol UDP, se šifrováním WPA2-PSK
- 2,4 GHz, protokol TCP, se šifrováním WPA2-PSK
- 5 GHz, protokol UDP, bez šifrování
- 5 GHz, protokol TCP, bez šifrování
- 5 GHz, protokol UDP, se šifrováním WPA2-PSK
- 5 GHz, protokol TCP, se šifrováním WPA2-PSK

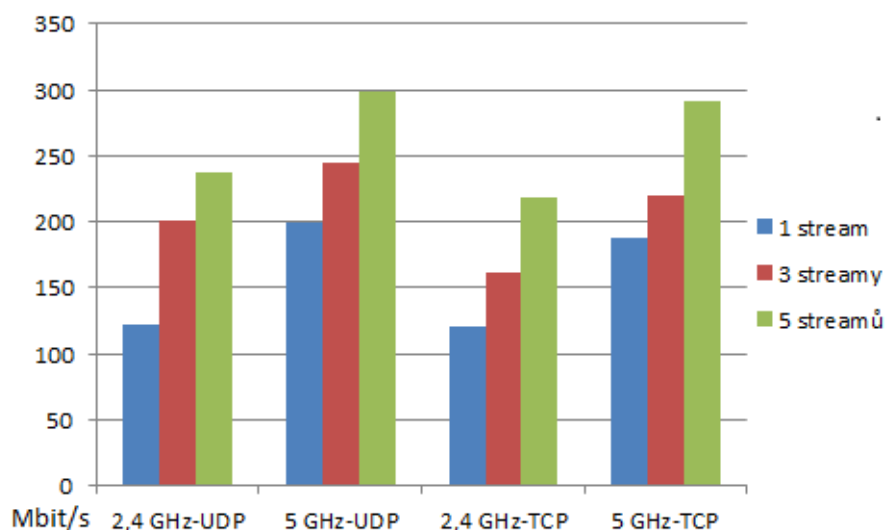
Po změření výše uvedených nastavení jsem začal měřit přenosovou rychlost na vzdálenost 70 metrů v pásmech 2,4 GHz a 5 GHz. U tohoto měření jsem si odměřil vzdálenost 70 metrů po 10 metrech. Po každém desátém metru jsem provedl měření přenosové rychlosti. Měření vzdálenosti probíhalo v protokolu UDP bez použití šifrování.



## 5 Proměření dosažených přenosových rychlostí

Výsledky všech výše zmíněných měření jsem zpracoval do tabulek a vložil do přílohy A.

Pro lepší přehlednost změřených hodnot uvedených v tabulkách jsem vytvořil grafy. Grafy jsem rozdělil na 2 kategorie. První kategorie grafů je graf č. 5.1. Tento graf obsahuje naměřené hodnoty v UDP a v TCP protokolu pro nastavení směrovače bez šifrování a pro pásma 2,4 GHz a 5 GHz. Druhý graf č. 5.2 obsahuje hodnoty taktéž v protokolech UDP a TCP pro obě pásma, ale s použitím šifrování WPA2-PSK.



Graf 5.1: Měření v pásmech 2,4 GHz a 5 GHz v protokolech UDP a TCP bez šifrování



Graf 5.1: Měření v pásmech 2,4 GHz a 5 GHz v protokolech UDP a TCP se šifrováním WPA2-PSK

Z grafů můžeme vidět změny přenosové rychlosti v určitých situacích. Podle použití protokolu, šifrování nebo pásma se mění přenosová rychlost. Můžeme pozorovat, že protokol UDP je ve všech případech nastavení nejrychlejší v obou pásmech. Důvodem jsou vlastnosti protokolů zmíněné na začátku této kapitoly. Použitím šifrování se také snižuje přenosová rychlost. To je dáno tím, že bezdrátový přenos je na vysílací straně šifrován a na přijímací straně dešifrován. Kvůli použití šifrování se projevilo další snížení přenosové rychlosti. Nejvyšší přenosovou rychlost v pásmu 2,4 GHz se podařilo naměřit při protokolu UDP bez použití šifrování. Tato hodnota dosáhla přenosové rychlosti 238 Mbit/s. Teoretická hodnota standardu při měření přenosové rychlosti v pásmu 2,4 GHz je zhruba 450 Mbit/s ve třech streamech. S ohledem na naměřené hodnoty jsem dosáhl přenosové rychlosti o něco málo vyšší než je polovina teoretické rychlosti. V pásmu 5 GHz se jedná o nejvyšší naměřenou přenosovou rychlost 299 Mbit/s v protokolu UDP bez šifrování. Teoretická rychlost pro pásmo 5 GHz je zhruba 866 Mbit/s při třech streamech. V porovnání naměřené přenosové rychlosti jsem v tomto pásmu dosáhl horšího poměru hodnot než v pásmu 2,4 GHz. Poměrem hodnot je myšlena přenosová rychlost reálná vůči teoretické udávané na obalu zařízení. V tomto případě jsem dosáhl reálné přenosové rychlosti zhruba 1/3 oproti teoretické přenosové rychlosti. V součtu přenosových rychlostí při použití obou pásem 2,4 GHz a 5 GHz, se hodnota přenosové rychlosti dostala na hranici 537 Mbit/s.

## 5.2 Měření útlumů signálu skrz materiály

Následující měření je měření rozdílu v úbytku signálu a přenosové rychlosti skrz dostupné materiály. Použil jsem tři materiály: dřevo, plech a polystyrén. Měl jsem k dispozici tvarovaný plech, kterým jsem přikryl směrovač. Směrovač byl úplně zakrytý a ven z uzavřeného prostoru vedly pouze kabely do zásuvky pro napájení a kabel UTP do serveru. Změřil jsem hodnoty přenosové rychlosti a sílu signálu. Poté jsem nechal směrovač přikrytý a překryl jsem ho dřevěnou krabicí, kterou jsem vyrobil. Změřil jsem hodnoty a přidal jsem poslední prvek a to polystyrén. Tím jsem zakryl oba prvky a zhruba metr od toho jsem položil notebook (tedy klienta) a začal měřit opět hodnoty. Poté jsem celkové zakrytí odložil ze směrovače. Stejně jako plech jsem nakonec změřil zvlášť postupně dřevo a polystyrén. Výsledné hodnoty jsem zanesl do tabulky. Tyto měření jsem prováděl jak pro pásmo 2,4 GHz tak pro 5 GHz s protokolem TCP.

Tabulka 5.2: Měření v pásmu 2,4 GHz přes materiály

2,4 GHz - TCP protokol se šifrováním v uzavřené oblasti přes plech a plovoucí podlahu				
Přenosová rychlost v Mbit/s (signál v dBm)				
stream	Polystyrén	dřevo	Plech	Plech-dřevo-polystyrén
1	96 (-25 )	96 (-29 )	94 (-36 )	78 (-55 )
3	111 (-25 )	108 (-29 )	104 (-36 )	89 (-54 )
5	121 (-25 )	117 (-29 )	113 (-36 )	102 (-55 )

## 5 Proměření dosažených přenosových rychlostí

V pásmu 2,4 GHz u protokolu TCP můžeme vidět, že nenastaly k nějaké výrazné změny v přenosové rychlosti s každým materiálem zvlášť. Pásmo si výborně poradilo s polystyrénem a dřevem, jako kdyby směrovač vůbec nepřekrývaly. Se dřevem nastala menší změna v přenosové rychlosti a síly signálu. U dřeva se snížila přenosová rychlost u pěti streamů o 4 Mbit/s. Síla signálu se snížila na -29 dBm. U plechu se přenosová rychlost a síla signálu změnila znatelněji. Změna přenosové rychlosti se zde nejvíce projevila při 5 streamech. Snížila se ze 121 Mbit/s na 113 Mbit/s. Síla signálu také výrazněji polevila a to až na -36 dBm. Při kombinaci všech 3 materiálů nastala výrazná změna. Útlum na síle signálu skrz všechny tři materiály je -55 dBm. Přenosová rychlost zareagovala stejným způsobem a snížila se na hranici 102 Mbit/s na 5 streamů.

Tabulka 5.12: *Měření v pásmu 5 GHz přes materiály*

5 GHz - TCP protokol se šifrováním v uzavřené oblasti přes plech a plovoucí podlahu				
Přenosová rychlost v Mbit/s (signál v dBm)				
stream	Polystyren	Dřevo	Plech	Plech-dřevo-polystyren
1	143 (-34 )	129 (-37 )	118 (-53 )	103 (-67 )
3	194 (-34 )	180 (-37 )	168 (-54 )	160 (-66 )
5	262 (-34 )	245 (-37 )	210 (-54 )	166 (-67 )

U 5 GHz pásma jsou změny výraznější. Přenosová rychlost u polystyrénu se snížila o 26 Mbit/s při síle signálu -34 dBm. S překrytím směrovačem dřevem je změna síly signálu a přenosové rychlosti výraznější. Skrz dřevo se signál šířil hůře kvůli hustotě materiálu a odrazovým vlastnostem. Přenosová rychlost se snížila oproti původním hodnotám bez překážek o 43 Mbit/s se signálem -37 dBm. Při použití plechu je změna nejvýraznější. Přenosová rychlost se zde snížila o 78 Mbit/s při síle signálu -54 dBm. Ze změřených hodnot lze usoudit, že plech má ze tří měřených materiálů největší vliv na útlum signálu.

Na konec měření jsem přichystal měření všech tří materiálů současně. Výsledkem je poslední řádek v tabulce. U pásma 5 GHz síla signálu klesla na -67 dBm a přenosová rychlost o 122 Mbit/s. Při sečtení hodnot snížených přenosových rychlostí u každého materiálu zvlášť došlo k rozdílu zhruba 20 Mbit/s oproti použití všech materiálů současně. Přenosová rychlost skrz všechny 3 materiály je o 20 Mbit/s rychlejší. Tuto změnu přiřazuji k účinkům technologie Beamforming.

## Závěr

Cílem této práce bylo zjistit parametry standardu 802.11ac. Sloučením pásem 2,4 GHz a 5 GHz ve vnitřním (indoor) prostředí zvýšilo několikanásobně přenosovou rychlost směrovačů. Díky technologii Beamforming se síla signálu skrz překážky zlepšila, a to jak v pásmu 2,4 GHz tak i pásmu 5 GHz. Tato technologie zajišťuje efektivnější a kvalitnější pokrytí signálem. Přidáním nové technologie MU-MIMO (multy-user MIMO) dokáží směrovače obsloužit efektivněji více klientských zařízení současně. Rozšířením modulace na 256-QAM a přidáním OFDM až do 64-OFDM se zvýšila podstatně přenosová rychlost u směrovačů. Rozšířením šířky pásma ze 40 MHz až na 160 MHz přispělo k rozšíření propustnosti bezdrátového spojení.

Celková nejvýše změřená rychlost je v UDP protokolu bez použití šifrování v obou pásmech. V pásmu 2,4 GHz je nejvýše dosažena přenosová rychlost 238 Mbit/s s použitím 5 streamů. V pásmu 5 GHz je nejvyšší přenosová rychlost 299 Mbit/s na 5 streamů. Rychlost v obou pásmech zároveň dokáže přenášet informace rychlostí 537 Mbit/s. V TCP protokolu je přenosová rychlost o několik desítek Mbit/s menší. V pásmu 2,4 GHz je nejvyšší přenosová rychlost 218 Mbit/s a v pásmu 5 GHz 292 Mbit/s. Při sečtení hodnot je výsledek TCP protokolu 510 Mbit/s. Teoretické zdroje udávají hodnotu přes 1 GB/s v obou pásmech podle výrobce zařízení. Měření prokázalo reálnou maximální přenosovou rychlost 537 Mbit/s v UDP protokolu bez použití šifrování. Změřená přenosová rychlost dosahuje zhruba 1/3 udávané teoretické přenosové rychlosti. Použité zařízení pro tuto práci je ASUS-AC53. Tato bezdrátová karta byla uvedena na trh mezi prvními bezdrátovými kartami a nemusí být schopná dosáhnout vyšších přenosových rychlostí. S novějšími klientskými zařízeními je dle mého názoru možné dosáhnout vyšších přenosových rychlostí. Přenosovou rychlost není nutné dále vyvíjet, jelikož klientské zařízení nejsou na takové přenosové rychlosti připraveny. Vývojáři by se měli zamyslet nad budoucí použitelností pásem 2,4 GHz a 5 GHz. V případě, že se standard 802.11ac uchytl v praktickém použití, tak v budoucnu budou pásma 2,4 GHz a 5 GHz nepoužitelné pro vysílání. To platí pro jak pro vnější prostředí, tak i pro vnitřní prostředí.

Z této práce vyplývá, že technologie 802.11ac je vynikajícím řešením v místech, kde je potřeba zajistit velkou přenosovou rychlost a připojení více klientských zařízení najednou. Místa jako jsou například sály, školy, veřejné místa, úřady a další. Také například v domech, kde jsou hrubé zdi a obyčejné směrovače si s nimi neporadí. Další možnosti jsou místa, kde je potřeba zajistit datové úložiště. Využitím vysokých přenosových rychlostí je standard 802.11ac skvělou volbou. Směrovače dokáže také díky USB 3.0 portům velmi efektivně sdílet dokumenty.

Nástupcem standardu 802.11ac je nově vyvíjený standard 802.11ad. Z hlediska využití pásem a kanálů u standardu 802.11ac doufám, že bude mít standard 802.11ad lépe řešené využívání pásem a kanálů pro použití v praxi.

## Použitá literatura

- [1] ŽALUD, Václav. *Moderní radioelektronika*. 1. vyd. Praha: BEN, 2000, 656 s. ISBN 80-86056-47-3.
- [2] Výkony, limity ČTU a GL č. 12/R/2000. *KHnet.info* [online]. [cit. 2011-01-05]. Dostupné z: <http://forum.khnet.info/viewtopic.php?f=10&t=964#p7299>
- [3] <http://cs.wikipedia.org/wiki/IEEE>
- [4] <http://www.daskonet.cz/technologie/wifi-2ghz-vs-5ghz.html>
- [5] [http://www.techmania.cz/edutorium/art\\_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=416b757374696b61h&key=659](http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=416b757374696b61h&key=659)
- [6] <http://www.physicsclassroom.com/class/waves/u10l3b.cfm>
- [7] <http://pctuning.tyden.cz/hardware/site-a-internet/16921-ieee-802-11n-jak-na-rychle-wi-fi-doma-i-venku?start=3>
- [8] [http://wiki.pvfree.net/index.php/Stanoveni\\_prvni\\_Fresnelovy\\_zony](http://wiki.pvfree.net/index.php/Stanoveni_prvni_Fresnelovy_zony)
- [9] <http://www.svetsiti.cz/clanek.asp?cid=Fyzicka-a-linkova-vrstva-ISO-OSI-1392000>
- [10] <http://www.linuxexpres.cz/praxe/vyrobte-si-antenu-pro-svou-wifi>
- [11] [http://www.ped.muni.cz/wtech/petrik/digitalnitechnologie/digitalnitechnologie/multiple\\_xovani.html](http://www.ped.muni.cz/wtech/petrik/digitalnitechnologie/digitalnitechnologie/multiple_xovani.html)
- [12] <http://www.youtube.com/watch?v=fFr3bnMRq1c>
- [13] <http://www.zive.cz/clanky/novy-standard-wi-fi-gigabit-vzduchem/sc-3-a-165687/default.aspx>
- [14] <http://www.d-prog.cz/dprog25/index.php/cs/pro-radiofrekvenni-sit/rf-ruckus/ruckus-technologie/co-je-beamforming,-beamflex>
- [15] [http://pctuning.cz/hardware/site-a-internet/11138-wi-fi\\_site-vse\\_co\\_jste\\_kdy\\_chteli\\_vedet\\_12?start=8](http://pctuning.cz/hardware/site-a-internet/11138-wi-fi_site-vse_co_jste_kdy_chteli_vedet_12?start=8)
- [16] <http://ukazy.astro.cz/Rayleighuv-a-Mieuv-rozptyl.php>

## Seznam příloh

Příloha A: ..... Naměřené hodnoty I

Tabulka A.1: TCP protokol v pásmu 2,4 GHz bez šifrování

2,4GHz - TCP protokol bez šifrování				
stream	Přenosová rychlost v Mbit/s (signál v dBm)			
	Bez překážek	1 překážka	2 překážka	3 překážka
1	121 (-23 )	110 (-47 )	101 (-50 )	77 (-61 )
3	161 (-23 )	160 (-47 )	151 (-50 )	101 (-62 )
5	218 (-23 )	192 (-47 )	182 (-50 )	117 (-63 )

Tabulka A.2: TCP protokol v pásmu 2,4 GHz s šifrováním WPA2-PSK

2,4GHz - TCP protokol se šifrováním WPA2-PSK				
stream	Přenosová rychlost v Mbit/s (signál v dBm)			
	Bez překážek	1 překážka	2 překážka	3 překážka
1	96 (-32 )	70 (-43 )	64 (-57 )	60 (-70 )
3	111 (-32 )	104 (-43 )	99 (-57 )	82 (-70 )
5	121 (-32 )	106 (-43 )	104 (-57 )	90 (-70 )

Tabulka A.3: UDP protokol v pásmu 2,4 GHz bez šifrování

2,4GHz - UDP protokol bez šifrování				
stream	Přenosová rychlost v Mbit/s (signál v dBm)			
	Bez překážek	1 překážka	2 překážka	3 překážka
1	122 (-22 )	111 (-50 )	103 (-51 )	92 (-60 )
3	201 (-22 )	199 (-52 )	188 (-51 )	175 (-61 )
5	238 (-23 )	211 (-54 )	198 (-52 )	180 (-61 )

Tabulka A.4: UDP protokol v pásmu 2,4 GHz se šifrováním WPA2-PSK

2,4GHz - UDP protokol se šifrováním WPA2-PSK				
stream	Přenosová rychlost v Mbit/s (signál v dBm)			
	Bez překážek	1 překážka	2 překážka	3 překážka
1	105 (-30 )	99 (-45 )	87 (-57 )	72 (-72 )
3	152 (-30 )	132 (-45 )	122 (-58 )	94 (-72 )
5	178 (-30 )	159 (-46 )	136 (-58 )	101 (-72 )

Tabulka A.5: Měření přenosové rychlosti na vzdálenost 60 metrů v pásmu 2,4 GHz

2,4 GHz - měření dosahu vzdálenosti.						
stream	Přenosová rychlost v Mbit/s (signál v dBm)					
	10 metru	20 metru	30 metru	40 metru	50 metru	60 metru
1	116 (-48)	105 (-54)	101 (-62)	57 (-69)	51 (-74)	22 (-78)
3	162 (-48)	155 (-54)	145 (-63)	72 (-70)	68 (-74)	41 (-79)
5	174 (-48)	168 (-55)	151 (-62)	89 (-70)	74 (-75)	42 (-79)

Tabulka A.6: TCP protokol v pásmu 5 GHz bez šifrování

5 GHz - TCP protokol bez šifrování				
stream	Přenosová rychlost v Mbit/s (signál v dBm)			
	Bez překážek	1 překážka	2 překážka	3 překážka
1	188 (-24 )	131 (-52 )	97 (-66 )	54 (-77 )
3	220 (-24 )	176 (-52 )	129 (-66 )	63 (-77 )
5	292 (-24 )	206 (-52 )	162 (-66 )	73 (-77 )



Tabulka A.7: TCP protokol v pásmu 5 GHz se šifrování WPA2-PSK

5 GHz - TCP protokol se šifrováním WPA2-PSK				
stream	Přenosová rychlost v Mbit/s (signál v dBm)			
	Bez překážek	1 překážka	2 překážka	3 překážka
1	159 (-26 )	131 (-54 )	101 (-69 )	65 (-76 )
3	210 (-26 )	189 (-54 )	151 (-69 )	65 (-79 )
5	288 (-26 )	201 (-54 )	182 (-68 )	68 (-76 )

Tabulka A.8: UDP protokol v pásmu 5 GHz bez šifrování

5 GHz - UDP protokol bez šifrování				
stream	Přenosová rychlost v Mbit/s (signál v dBm)			
	Bez překážek	1 překážka	2 překážka	3 překážka
1	199 (-24 )	136 (-50 )	103 (-67 )	62 (-77 )
3	244 (-24 )	184 (-52 )	136 (-67 )	68 (-79 )
5	299 (-23 )	222 (-54 )	175 (-67 )	76 (-78 )

Tabulka A.9: UDP protokol v pásmu 5 GHz se šifrování WPA2-PSK

5 GHz - UDP protokol se šifrováním WPA2-PSK				
stream	Přenosová rychlost v Mbit/s (signál v dBm)			
	Bez překážek	1 překážka	2 překážka	3 překážka
1	187 (-23 )	130 (-53 )	97 (-68 )	60 (-77 )
3	240 (-23 )	177 (-52 )	120 (-69 )	61 (-79 )
5	282 (-23 )	213 (-54 )	162 (-68 )	64 (-77 )

Tabulka A.10 – Měření přenosových rychlostí na vzdálenost 40 metrů v pásmu 5 GHz

5 GHz - měření dosahu vzdálenosti.				
Přenosová rychlost v Mbit/s (signál v dBm)				
streamy	10 metru	20 metru	30 metru	40 metru
1	178 (-52)	155 (-64)	89 (-71)	33 (-82)
3	211 (-52)	168 (-64)	105 (-71)	45 (-82)
5	286 (-52)	168 (-64)	114 (-71)	49 (-82)

Příloha B: *Velká tabulka na celou stránku*

text							

---